

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-084332

(43)Date of publication of application : 31.03.1998

(51)Int.Cl.

H04J 14/00
H04J 14/02

(21)Application number : 08-238999

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 10.09.1996

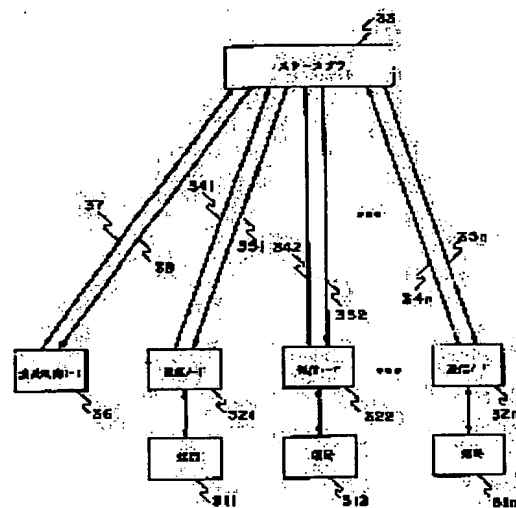
(72)Inventor : MAJIMA MASAO

(54) COMMUNICATION SYSTEM AND WAVELENGTH CONTROL METHOD USED FOR IT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To send a wavelength control signal to all communication nodes of a 1st communication system via a 2nd communication system by allowing the 2nd communication system that conducts communication independently of the 1st communication system conducting wavelength multiplex communication to detect a wavelength arrangement in the 1st communication system.

SOLUTION: A 1st communication system is a passive star communication system with terminal station number is (n), terminal stations 311-31n control a wavelength of light emission of its own station to keep a prescribed wavelength interval according to wavelength control information and wavelength multiplex communication is conducted via communication nodes 321-32n. A 2nd communication system has a wavelength control node 36 and optical fibers 37, 38 connected to a star coupler 33, has a control signal independently of the wavelength multiplex communication system in the same transmission line as that of the 1st communication system and conducts control communication of wavelength multiplex communication system and packet communication. A wavelength control node 36 has a function of detecting a wavelength in a network and a multiple address transmission function for packet communication only and applies multiple address communication of wavelength control packets to all communication nodes 321-32n in the network at a prescribed time interval.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

27.11.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3441893

[Date of registration] 20.06.2003

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(11)特許出願公開番号

特開平10-84332

(43)公開日 平成10年(1998)3月31日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

FI

技術表示箇所

H O 4 J 14/00
14/02

H04B 9/00

E

審査請求 未請求 請求項の数32 OL (全 35 頁)

(21)出願番号 特願平8-238999

(22)出願日 平成8年(1996)9月10日

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 真島 正男

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

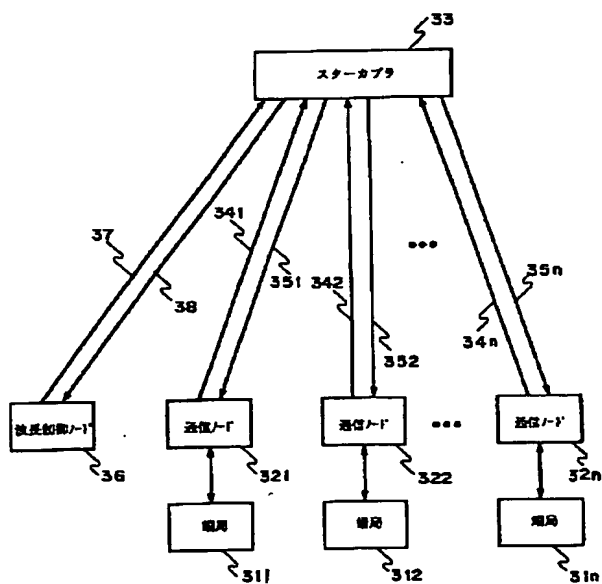
(74) 代理人 弁理士 山下 穰平

(54) 【発明の名称】 通信システム及びそこに用いる波長制御方法

(57) 【要約】

【課題】 複数の通信ノードから発光する波長を制御し、高密度な波長を多重化でき、他の通信ノードの発光波長との混信を避けることにある。

【解決手段】 波長多重通信系と波長多重通信系の通信制御にも用いられる制御通信系を備え、光ファイバ中の波長を検出し、所定の波長間隔に維持すべく各通信ノードに制御通信系からのパケット通信により、制御信号を伝送し、波長多重通信系は自局のＬＤの発光波長を制御することを特徴とする。制御通信系は、通信ノードと並列に波長制御ノードとして、通信ノード中の非受信中の通信ノードとして、複数の波長制御ノードとして、スターカプラをセンターノードとして、配置することにより、パケット通信信号を通して、各通信ノードを制御できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長多重通信を行う第1の通信系と、該第1の通信系とは独立した通信を行う第2の通信系と、少なくとも前記第1の通信系を介して通信を行う複数の通信ノードとを有する通信システムであって、前記第1の通信系における波長配置を検知し、該検知した波長配置に基づく波長制御信号を前記第2の通信系を介して前記複数の通信ノードに伝送する波長制御部を有することを特徴とする通信システム。

【請求項2】 前記波長制御部は前記複数のノードとは別個に設けられた波長制御ノードである請求項1に記載の通信システム。

【請求項3】 前記波長制御ノードを複数有している請求項2に記載の通信システム。

【請求項4】 前記波長制御部は前記複数の通信ノードのうちの前記第1の通信系を介した信号を受信していない状態の通信ノードが兼ねる請求項1に記載の通信システム。

【請求項5】 前記複数の通信ノードそれぞれは、前記第1の通信系及び前記第2の通信系を介してセンターノードに接続されており、前記波長制御部は該センターノード内に設けられている請求項1に記載の通信システム。

【請求項6】 前記センターノードは前記複数の通信ノードそれぞれから前記第1の通信系を介して送られてきた信号を他の通信ノードに前記第1の通信系を介して分配するか否かを選択する選択手段を有する請求項5に記載の通信システム。

【請求項7】 前記波長制御部は、波長可変フィルタと、該波長可変フィルタの透過波長を制御する制御回路とを有する請求項1乃至6のいずれかに記載の通信システム。

【請求項8】 前記通信ノードは、波長可変フィルタと、該波長可変フィルタの透過波長を制御する制御回路とを有する請求項1乃至7のいずれかに記載の通信システム。

【請求項9】 前記第1の通信系と前記第2の通信系とは波長多重されていることを特徴とする請求項1乃至8のいずれかに記載の通信システム。

【請求項10】 前記通信ノードは前記波長多重された前記第1の通信系と前記第2の通信系とを分離する分波器を有していることを特徴とする請求項9に記載の通信システム。

【請求項11】 前記第2の通信系はパケット通信を行う通信系であることを特徴とする請求項1乃至10のいずれかに記載の通信システム。

【請求項12】 前記複数の通信ノードは、前記第1の通信系に送出した信号を他の通信ノードに分配する分配手段を介して互いに接続されていることを特徴とする請求項1乃至11のいずれかに記載の通信システム。

【請求項13】 波長多重通信を行う第1の通信系と、該第1の通信系とは独立した通信を行う第2の通信系と、少なくとも前記第1の通信系を介して通信を行う複数の通信ノードとを有する通信システムにおいて、前記複数の通信ノードが前記第1の通信系に出力する光の波長を制御する波長制御方法であって、

前記通信システム内の波長制御部が、前記第1の通信系における波長配置を検知し、該検知した波長配置に基づく波長制御信号を前記第2の通信系を介して前記複数の通信ノードに伝送し、前記複数の通信ノードにおいては、該波長制御信号に基づき送信波長を制御することを特徴とする波長制御方法。

【請求項14】 前記波長制御部は前記複数の通信ノードとは別個に設けられた波長制御ノードであり、該波長制御ノードが前記波長配置の検知、及び波長制御信号の送出を行う請求項13に記載の波長制御方法。

【請求項15】 前記通信システムは、前記波長制御部として少なくとも第1及び第2の波長制御ノードを有しており、前記波長制御信号の送出は前記第1の波長制御ノードが行い、該第1の波長制御ノードが波長制御信号を送出しなくなったときに前記第2の波長制御ノードが前記波長制御信号の送出を行う請求項13に記載の波長制御方法。

【請求項16】 前記第2の波長制御ノードは前記第2の通信系で伝送されてくる前記波長制御信号を監視しており、該波長制御信号が所定の時間にわたって送られてこないときに前記第2の波長制御ノードが前記波長制御信号を送出する請求項15に記載の波長制御方法。

【請求項17】 前記通信システムは、前記波長制御部として少なくとも第1及び第2の波長制御ノードを有しており、前記波長制御信号の送出は前記第1及び第2の波長制御ノードが交互に行うことを特徴とする請求項13に記載の波長制御方法。

【請求項18】 前記第2の波長制御ノードは前記第2の通信系で伝送されてくる前記波長制御信号を監視しており、前記第1の波長制御ノードが送出する前記波長制御信号が所定の時間にわたって送られてこないときは、前記波長制御信号を送出する間隔を短くすることを特徴とする請求項15に記載の波長制御方法。

【請求項19】 前記通信システムは、前記波長制御部として少なくとも第1及び第2の波長制御ノードを有しており、いずれか1つの前記波長制御ノードが前記波長制御信号を送出していない間に、該波長制御信号を送出していない前記波長制御ノードが前記第1の通信系における波長配置の制御不良を検知した場合は、前記波長制御信号を送出していない前記波長制御ノードが前記波長制御信号を送出することを特徴とする請求項13に記載の波長制御方法。

【請求項20】 前記波長制御部には前記複数の通信ノードのうちの前記第1の通信系を介した信号を受信して

いない状態の通信ノードが成るものであり、前記波長制御部と成った通信ノードが前記波長配置の検知、及び波長制御信号の送出を行う請求項 13 に記載の波長制御方法。

【請求項 21】 前記第 1 の通信系を介した信号を受信していない状態の通信ノードのうち、前記第 1 の通信系を介した信号を受信する直前もしくは前記第 1 の通信系を介した信号を受信し終わった直後の状態の通信ノードが前記波長制御部と成ることを特徴とする請求項 20 に記載の波長制御方法。

【請求項 22】 前記第 1 の通信系を介した信号を受信していない通信ノードは、1 つの前記波長制御信号を受信してから所定の時間にわたって次の前記波長制御信号を受信しなかったときに、前記波長制御部となり、前記波長制御信号を送出する請求項 20 若しくは 21 に記載の波長制御方法。

【請求項 23】 前記第 1 の通信系を介した信号を受信する直前もしくは前記第 1 の通信系を介した信号を受信し終わった直後の状態の通信ノードが前記波長制御信号を送出する場合の前記波長制御信号の送出間隔の方が、前記第 1 の通信系を介した信号を受信する直前もしくは前記第 1 の通信系を介した信号を受信し終わった直後の状態以外の状態で、かつ前記第 1 の通信系を介した信号を受信していない状態の通信ノードが前記波長制御信号を送出する場合の前記波長制御信号の送出間隔よりも短いことを特徴とする請求項 20 乃至 22 のいずれか 1 項に記載の波長制御方法。

【請求項 24】 前記波長制御部となる通信ノードは前記波長制御部となっている通信ノードによって指定される請求項 20 に記載の波長制御方法。

【請求項 25】 前記複数の通信ノードそれぞれは前記第 1 の通信系及び前記第 2 の通信系を介してセンターノードに接続されており、前記波長制御部は該センターノード内に設けられており、該波長制御部が送出する前記波長制御信号は前記センターノードから前記複数の通信ノードに伝送される請求項 13 に記載の波長制御方法。

【請求項 26】 前記センターノードにおいて、前記複数の通信ノードそれぞれから前記第 1 の通信系を介して送られてきた信号は、所定の波長になるまで他の通信ノードには分配されない請求項 25 に記載の波長制御方法。

【請求項 27】 前記波長制御信号は前記第 1 の通信系で使用されている全チャンネルの波長制御情報を含んでいる請求項 13 乃至 26 のいずれか 1 項に記載の波長制御方法。

【請求項 28】 前記波長制御信号は、前記各チャンネルの波長を制御する情報として、各チャンネルの波長を「維持」、「長波長側へ移動」、「短波長側へ移動」させることを示す情報を含んでいることを特徴とする請求項 27 に記載の波長制御方法。

【請求項 29】 前記波長制御信号は前記第 1 の通信系で使用されていないチャンネルを示す情報を含んでいることを特徴とする請求項 27 若しくは 28 に記載の波長制御方法。

【請求項 30】 前記通信ノードは前記波長制御信号が含んでいる前記使用されていないチャンネルを示す情報に基づき使用するチャンネルを決定することを特徴とする請求項 29 に記載の波長制御方法。

【請求項 31】 前記通信ノードは前記第 2 の通信系を用いたデマンドアサイン制御により前記第 1 の通信系における使用チャンネルを割り当てられることを特徴とする請求項 13 乃至 29 のいずれか 1 項に記載の波長制御方法。

【請求項 32】 前記波長制御信号は、前記第 1 の通信系において使用される各チャンネルの波長が所定の波長間隔に成るように各チャンネルの波長を制御するための情報を含んでいることを特徴とする請求項 13 乃至 31 のいずれか 1 項に記載の波長制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長多重通信システムに用いられる複数の送信波長を制御する波長制御方法及び該波長制御方法を実行し、制御される光ノード、センターノードや波長制御ノードを含む通信システムに関する。

【0002】

【従来技術】近年、多量の情報を何時でも、好きなときに、誰にでも伝送できる社会が強く望まれ、そのため多量の情報を高速に伝送できる可能性が高い光通信システムが期待され、特に光ファイバを利用して多数の波長を多重してギガビットレートは現実となり、テラビットレートも夢ではない時に遭遇している。本発明においても、かかる時代に則し、より有効な構成を有するものである。

【0003】光信号を伝送媒体とする波長多重通信(WDM: Wavelength Division Multiplexing)は、光周波数分割多重(光FDM: Optical Frequency Division Multiplexing)ともいわれ、一つの伝送路内に異なる波長毎に独立した多数のチャンネル(送信波長)を有することができる。時分割多重(TDM)のようにフレーム同期等の時間軸上での多重化が不要なため、各チャンネルの伝送速度を一致させる必要がなく、ネットワークの柔軟性が求められるマルチメディア通信にも適している。

【0004】波長多重通信システムの一例として、パッシブ・スター型の構成で1つの伝送線路内に、波長多重通信系とそれと独立な制御用の通信系の信号をもつシステムがある。この波長多重通信システムでは波長多重通信系として、送信1対受信1、送信1対受信多の回線通信に用いられる。一方、これと独立な通信系の回線は、

波長多重通信系の制御通信とパケット通信に用いられる（以下、パケット通信系と称する。）

図 20 にその波長多重通信系のシステムの構成例を示す。図において、端局 612~61n は通信ノード 322~32n、光ファイバ 341~34n、351~35n を介してスターカプラ 33 に接続され、ネットワークが構成される。通信ノード 322~32n から送出された光信号はスターカプラ 33 で全ての通信ノード 322~32n（自分も含む）に分配される。

【0005】かかる波長多重通信系のシステムにおける伝送路である光ファイバ 341~34n、351~35n 上で伝送される光信号の波長配置を図 6 に示す。波長多重通信系は光ファイバの低損失領域の 1.5 μm 帯、波長制御用のパケット通信系は 1.3 μm 帯が割り当てられる。波長多重通信系には m ($m \leq n$: チャンネル数は通信ノード数より少ない) 個の独立な波長チャンネルがあり、各通信ノードは必要に応じてチャンネルを占有し、各通信ノード間の通信を行う。パケット通信系は FDDI (Fiber Distributed Data Interface) 等のプロトコルで全通信ノードで共通に使用される。

【0006】波長多重通信系のチャンネル数を多くするためにチャンネル間の波長間隔（以下、 $c h$ 間隔と称する。）を 10 GHz オーダ（例えば、1.55 μm 帯で波長換算すれば約 0.08 nm）にした場合、各通信ノードの送信波長を維持するように制御する必要がある。分散配置された通信ノードからの送信波長の $c h$ 間隔を一定に保つ方式として、いくつかのものが提案されている（例えば、刊行物 Electronics Letters, 第 23 巻（1987 年）, 第 23 号, 1243~1245 項, “Frequency Stabilisation of FDM Optical Signals Originating from different locations” がある）。

【0007】中でも本発明者等が提案している方式で出願中の特願平 6-296660 号における、いわゆる FCS (Floating Channel Stack) 方法は、波長の初期設定、再設定が容易であり、また通信ノードの送信器に波長検出回路を必要とせず、制御が簡便である。

【0008】この FCS 方式では、各通信ノードは自局の波長と波長配置で長波長側に隣接するチャンネルの波長との $c h$ 間隔を検知し、 $c h$ 間隔が一定になるように自局の波長を制御する。図 21 にその動作の一例を示す。自局通信ノードの発光開始時は既に発光している例えば他局通信ノードの $c h 1 \sim c h 4$ と遠く離れて、波長多重通信系の波長範囲の短波長側、例えば $c h 5$ に示す波長から開始し（図 21 a）、徐々に長波長側にシフトしていき、長波長側の隣接波長の $c h 4$ から所定の $c h$ 間隔となったとき自局の送信波長を光伝送路に出力し、通信信号を希望相手局に出力して定常状態を維持する（図 21 b）。また、他局のある通信ノードが送信を終了し、発光を停止した場合（図 21 c の $c h 3$ ）には、その短波長側で発光する通信ノード ($c h 4, c h$

5) は発光波長を徐々に長波長側にシフトしていき、それぞれ長波長側の送信波長と所定の $c h$ 間隔となったとき波長移動を停止し、その発光波長での送信を維持する（図 21 d）。この結果、定常状態では、波長多重通信系の波長範囲の長波長端から等しい $c h$ 間隔で、各通信ノードの送信波長が配置される（図 21 b, d）。以上の動作は、各通信ノードに自局の発光波長と長波長側の隣接波長とを検出して、その $c h$ 間隔が所定の範囲内に維持されるように動作する機構を備えているからである。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明では、波長多重通信システムにおいて、波長チャンネル間隔を制御する新規な構成を提供することを目的とし、特に低コストでネットワークシステムを構成することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の上記目的を達成するための通信システムは、波長多重通信を行う第 1 の通信系と、該第 1 の通信系とは独立した通信を行う第 2 の通信系と、少なくとも前記第 1 の通信系を介して通信を行う複数の通信ノードとを有しており、通信システム内の波長制御部が、前記第 1 の通信系における波長配置を検知し、該検知した波長配置に基づく波長制御信号を前記第 2 の通信系を介して前記複数の通信ノードに伝送し、前記複数の通信ノードにおいては、該波長制御信号に基づき送信波長を制御することとを特徴とする。

【0011】この構成により、各通信ノードが第 1 の通信系に出力する光の波長を波長制御部によって制御されるため、混信を起こすことはなくなる。また各通信ノードが波長配置を検知して自ノードの出力光の波長を制御する必要がなくなり、各通信ノードは波長多重信号を受信する系と別個に波長配置検知のための系を備える必要がなくなる。

【0012】前記波長制御部は通信システム内のさまざまな位置に設けることができるが、1 つの例としては、前記複数のノードとは別個に設けられた波長制御ノードとする構成を取りうる。

【0013】また該波長制御ノードを複数設ける構成を取りうる。この時、1 つの波長制御ノードが機能しなくなっても他の波長制御ノードにより波長制御を行うことができるため、通信システムの信頼性を向上させることができる。波長制御信号を送出する波長制御ノードを切替えるための構成としては、前記波長制御信号の送出は前記第 1 の波長制御ノードが行い、該第 1 の波長制御ノードが波長制御信号を送出しなくなったときに前記第 2 の波長制御ノードが前記波長制御信号の送出を行う構成を取りうる。前記第 2 の波長制御ノードは前記第 2 の通信系で送られてくる波長制御信号を監視しておき、所定の時間以上波長制御信号が来ないときに波長制御信号を送出するようにすればよい。

【0014】また第1及び第2の波長制御ノードが交互に波長制御信号を送出するようにしてもよい。この構成では波長制御ノードにかかる負荷を分散でき好適である。またその時、一方の波長制御ノードが波長制御信号を送出しなくなると、波長制御信号が送出される間隔が長くなってしまいが、その時には、残っている方の波長制御ノードは波長制御信号を送出する間隔を短くすれば一方の波長制御ノードが機能しないときにも正確な波長制御が可能となる。

【0015】また複数の波長制御ノードを用いる構成において、他方の波長制御ノードが機能しているかどうかは、第1の通信系の波長配置を検知することによっても知ることができる。すなわち自波長制御ノードが波長制御信号を送出していないときに、第1の通信系における波長配置の制御不良を検出したら、他の波長制御ノードがうまく機能していない可能性があり、その時は自波長制御ノードが波長制御信号を送出すればよい。この構成によれば、波長制御ノードは他の波長制御ノードが送出する波長制御信号を監視する必要があるため、第2の通信系の受信機能を省略することができ構成を簡素化できる。

【0016】また波長制御部として波長制御ノードを設けずに、前記複数の通信ノードのうちの前記第1の通信系を介した信号を受信していない状態の通信ノードが成るものとしてもよい。この構成では波長制御ノードを設ける必要がなくなり構成を簡素化できる。特に、前記第1の通信系を介した信号を受信していない状態の通信ノードのうち、前記第1の通信系を介した信号を受信する直前もしくは前記第1の通信系を介した信号を受信し終わった直後の状態の通信ノードが前記波長制御部と成る様になると、前記第1の通信系で使用するチャンネルの波長を所定の波長間隔で並べように制御しているときには、上記状態になったときというのは、所定の波長間隔で並んでいる状態が乱れている状態になるということであり、その原因となった通信ノードが波長制御部に成ることになる。この時前記第1の通信系を介した信号を受信する直前もしくは前記第1の通信系を介した信号を受信し終わった直後の状態の通信ノードが前記波長制御信号を送出する場合の前記波長制御信号の送出間隔の方が、前記第1の通信系を介した信号を受信する直前もしくは前記第1の通信系を介した信号を受信し終わった直後の状態以外の状態で、かつ前記第1の通信系を介した信号を受信していない状態の通信ノードが前記波長制御信号を送出する場合の前記波長制御信号の送出間隔よりも短いようにすると、上記のように所定の波長間隔が乱れている状態を速やかに解消でき好適である。

【0017】また波長制御部となる通信ノードの交代は、前記第1の通信系を介した信号を受信していない通信ノードは、1つの前記波長制御信号を受信してから所定の時間にわたって次の前記波長制御信号を受信しな

ったときに、前記波長制御部となる様にするることによって行うことができる。この時、通信ノードの状態によって前記所定の時間の長さを変更するようにすると波長制御部になる通信ノードに優先度をつけることができる。すなわち波長制御部に成ることが望ましい通信ノードは前記所定の時間を短く設定すればよい。

【0018】また波長制御部となる通信ノードの交代は、前記波長制御部となっている通信ノードによってその後波長制御部となる通信ノードを指定することによって行うこともできる。

【0019】また通信システムの構成を各通信ノードがセンターノードに接続される構成とし、該センターノード内に波長制御部を設けることもできる。この時センターノードにおいて、前記複数の通信ノードそれぞれから前記第1の通信系を介して送られてきた信号は、所定の波長になるまで他の通信ノードには分配されないようにすると、制御不能になった波長が暴走したときや、送信を開始するときや、他の通信ノードが使用している波長を超えて波長を移動させるときに第1の通信系に影響を与えないようにすることができ好適である。

【0020】また波長制御信号が前記第1の通信系で使用されている全チャンネルの波長制御情報を含んでいると、1つの波長制御信号によりすべての通信ノードがほぼ同時に波長配置状態を識別でき好適である。

【0021】また波長制御信号が、前記各チャンネルの波長を制御する情報として、各チャンネルの波長を「維持」、「長波長側へ移動」、「短波長側へ移動」させることを示す情報を含んでいる構成を取りうる。

【0022】また波長制御信号は前記第1の通信系で使用されていないチャンネルを示す情報を含んでいる構成をとることができ、この時前記通信ノードはこの使用されていないチャンネルを示す情報に基づき使用するチャンネルを決定する事ができる。

【0023】また第2の通信系を用いたデマンドアサイン制御により前記第1の通信系における使用チャンネルを割り当てられるようにすることもできる。

【0024】また前述したように第1の通信系で用いられる波長が所定の波長間隔で並べられると波長域を高密度に使用することができ好適である。

【0025】また前記第1の通信系と前記第2の通信系が波長多重されている構成や、別々の伝送路を用いる構成などさまざまな形態を取りうる。第1の通信系と第2の通信系が多重されていると、配線を簡素化でき配線の組み合わせや配置取りも容易である。その時は、通信ノードは前記多重された前記第1の通信系と前記第2の通信系とを分離する手段を備えればよい。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を、図面を参照しつつ詳細に説明する。

【0027】〔第1実施形態〕第1実施形態では、波長

多重通信系（第1の通信系）の波長配置全体を、ネットワーク内に設置された波長制御ノードが検知し、波長多重通信系の隣接するチャンネルの波長間隔を一定に維持するための制御情報を、波長多重通信系と独立したパケット通信系（第2の通信系）でネットワーク内の各通信ノードに知らせる。各通信ノードはこの制御情報をもとに、自局の波長多重通信系の送信器の光源の波長を隣接チャンネルとの波長間隔が一定になるように制御する。

【0028】本実施形態では、独立した通信系をパケット通信系とし、制御情報は波長制御パケットとして、波長制御ノードからネットワーク内の全通信ノードに同報通信される。また、波長制御ノードはパケット通信系の送信機能のみをもち、一定時間間隔で波長制御パケットを送出する。

【0029】以下、図面を用いて詳細に説明する。図1は本実施形態の波長制御方式を適用する波長多重通信システムの構成図であり、端局数 n のパッシブ・スター型の波長多重通信システムである。波長制御ノード36およびそれとスターカプラ33を接続するための光ファイバ37、38を有する点が本実施形態の特徴である。端局311～31 n は通信ノード321～32 n を介して送信信号及び受信信号により通信を行う。通信ノード321～32 n は端局311～31 n からの電気信号を光信号に変換し、光ファイバ341～34 n に出力し、光ファイバ351～35 n から入力される光信号を電気信号に変換する。スターカプラ33は光ファイバ341～34 n 、及び光ファイバ37から入力される光信号を光ファイバ351～35 n 、及び光ファイバ38に分配する。

【0030】図2は本実施形態の波長制御方法の動作の一例を示している。図2中、発光開始時（a）、ズレの補正（b）、空きスペースの解消（c）の3つの場合について、制御動作前の波長配置、その状態の時に送られる波長制御パケット、制御動作後の波長配置を示した。図2に示す波長配置図では、実線は既に発光している通信ノードの波長を示し、点線は波長制御の目標となる波長を示している。詳細な動作は後述する。

【0031】図3は、本実施形態で波長制御ノードがシステム内の通信ノードの波長を制御するために、パケット通信系で送信する波長制御パケットのデータ形式を示す図である。1チャンネル当たり2ビットの波長制御コードが割り当てられる。該2ビットの波長制御コードは、最大チャンネル数分（ m 個）があり、データ長は $m \times 2$ ビットである。各チャンネルに対して、‘00’はチャンネル未使用、‘01’は波長を長波長側へシフト、‘10’は短波長側へシフト、‘11’は現状維持を示す。

【0032】図4は上記波長制御ノード36の構成図である。波長制御ノード36は波長制御系41、波長可変フィルタ42、波長可変フィルタ駆動回路43、受光素

子44、増幅器45、識別器46、LD47、LD駆動回路48により構成する。

【0033】波長制御系41は演算処理回路、記憶素子、D/A変換器等で構成する。波長制御系41からの制御信号によって、波長可変フィルタ駆動回路43を介して波長可変フィルタ42の透過スペクトルのピーク波長（以下、単に波長と称する。）を掃引し、受光素子44により電気信号に変換し、増幅器45を介し、識別器46の出力信号をもとに波長多重通信系の波長配置を検知し、パケット通信系で波長制御パケットを送出し、LD駆動回路48を介してLD47をドライブし、光ファイバ37を通して各通信ノードの波長を制御する。

【0034】波長可変フィルタ42は波長多重通信系の波長配置を検知するためのものである。本実施形態では波長多重通信系の波長帯を $1.5 \mu\text{m}$ 帯として例示している。この波長可変フィルタ42の透過スペクトルの半値幅は c/h 間隔の $1/5 \sim 1/10$ 程度のものが望ましい（例えば c/h 間隔： 5 GHz （ $1.5 \mu\text{m}$ 帯では 0.04 nm に相当）では 1 GHz ）。現在実用レベルの波長可変フィルタ素子としては、例えば会議予稿ECCO（European Conference on Optical Communication）'90-605, “A field-worthy, high-performance, tunable fiber Fabry-Perot filter” 記載のファイバ・ファブリペロー型フィルタがある。この素子はFSR（Free Spectral Range）毎に透過スペクトル・ピークをもつが、FSRを波長多重通信系の波長可変範囲以上にすることで、光バンドパスフィルタとして機能する。濾過波長は波長可変フィルタ駆動回路43からの駆動電圧により可変にできる。

【0035】波長可変フィルタ駆動回路43は電圧制御型電圧源であり、波長制御系41からの制御信号を電圧増幅する。受光素子44は波長可変フィルタ42からの透過光を電気信号に変換し、増幅器45はその電気信号を増幅し、識別器46はその電気信号をしきい値と比較し、しきい値以上の場合は‘1’、未満の場合は‘0’のデジタル信号を波長制御系41に出力する。波長制御系41では識別器46のデジタル出力と、波長可変フィルタ駆動回路43への制御電圧とを対比して、受光用光ファイバ上に存在する波長のチャンネルと、所定の c/h 間隔であるのかを判断し、所定の c/h 間隔であればチャンネル毎に波長の維持し、他の場合は長波長側ヘシフト、短波長側ヘシフト、チャンネルの波長無しなどの制御信号を出力する。

【0036】LD47はパケット通信系の光源であり、本実施形態では波長を $1.3 \mu\text{m}$ 帯として用いるが、他の波長帯であってもよい。LD駆動回路48は、LD47を波長制御系41からの通信制御信号で変調する電流源である。本実施形態においては、パケット通信系では高密度な波長多重は行わないため、LD47は直接強度変調される例を示すが、他の変調方式であってもよい。

【0037】図5は通信ノード321~32nの構成図である。波長多重通信系とパケット通信系の2つの機能を有する。波長多重通信系は、波長制御系51、波長可変LD52、波長可変LD駆動回路54、光変調器56、光変調器駆動回路57、波長可変フィルタ53、波長可変フィルタ駆動回路55、受光素子58、受信回路59で構成される。パケット通信系はLD47、LD駆動回路48、受光素子510、受信回路511で構成される。2つの通信系の送信部、受信部はそれぞれ光合波器512、光分波器513で接続されている。

【0038】ここで、波長制御系51は受信回路511からの波長制御パケットの内容に基づき、波長可変LD駆動回路54を介して波長可変LD52を制御する。また、波長制御系51は波長可変フィルタ駆動回路55を介して波長可変フィルタ53の透過波長を制御し、波長多重通信系のチャンネルの中から自局宛てのチャンネルの波長に波長可変フィルタ53の波長を一致させ、維持する。

【0039】また、波長可変LD52は波長多重通信系の送信用光源であり、その波長は例えば1.5 μ m帯である。現在波長可変幅を広げるための研究が進められているが、現時点で実用レベルのものは、多電極のDBR (Distributed Bragg Reflector) 型やDFB (Distributed Feedback) 型のものがあり、波長可変幅は数nmである。一例としては、電子情報通信学会技術報告OQE (Optical and Quantum Electronics) 89-116, “三電極長共振器 $\lambda/4$ シフトMQWDFBレーザ”記載のものが挙げられる。

【0040】さらに、波長可変フィルタ53は波長多重通信系の受信用の波長可変フィルタであり、その波長は波長可変LD52の発光波長と同様に例えば1.5 μ m帯が用いられる。また図4の波長可変フィルタ42と同様の素子であるが、透過スペクトルの半値幅はch間隔の1/3~1/6程度のもので望ましい(例えばch間隔5GHzでは1.5GHz)。

【0041】また、波長可変LD駆動回路54は、電圧制御型電流源であり、波長制御系51からの制御信号に対応した波長になるように波長可変LD52を駆動(電流を注入)する。前記の三電極長共振器 $\lambda/4$ シフトMQWDFBレーザを用いる場合は波長可変LD駆動回路54の出力は3つになる。

【0042】また、波長可変フィルタ駆動回路55は電圧制御型電圧源である。波長制御系51から波長制御信号とロックON/OFF信号が入力される。受信チャンネル選択時(ロックOFF)は、波長制御系51からの制御信号に対応した波長になるよう波長可変フィルタ53を駆動し、受信時(ロックON)には受信チャンネルの波長に波長可変フィルタ53の波長をロックする。

【0043】さらに、光変調器56および光変調器駆動回路57は、端局から入力される波長多重通信系の送信

信号で、波長可変LD52の出力光を強度変調するためのものである。波長可変LD52に注入する電流で直接変調した場合、0.1nm程度の波長変動が生じるため、光変調器56による外部強度変調方式が好適に用いられるが、送信信号で直接波長可変LDを強度変調する方式であってもよい。

【0044】また、受光素子58および受信回路59は、波長多重通信系の自局宛の受信信号を受信するためのものである。波長可変フィルタ53で選択されたチャンネルの光信号を電気信号に変換し、デジタル信号としての電気信号を再生する。再生された受信信号は端局に出力され、信号処理される。

【0045】また、パケット通信系のLD47、LD駆動回路48は、図4のものと同じく、パケット信号を光信号に変換し、例えば波長1.3 μ mで光合波器512を介して光ファイバに出力する。その受信は、他の通信ノードと同様に受光素子510、受信回路511により、パケット通信系の信号を受信し、パケット形式で送られてきた制御信号を検出して波長制御系51に送出する。

【0046】また、光合波器512は例えば1.5 μ m帯の波長多重通信系の光信号と1.3 μ m帯のパケット通信系の光信号を合波し、光ファイバに出力する。一方、光分波器513は光ファイバから入力する光信号を波長帯で分離し、1.5 μ m帯の光信号を波長可変光フィルタ53に入力し、1.3 μ m帯の光信号を受光素子510に入力する。

【0047】図6は本実施形態での波長配置を示す波長配置図である。パケット通信系は1.3 μ m帯を用い、波長多重通信系は1.5 μ m帯を用いる。パケット通信系は高密度の波長多重を行わないため、光源の波長制御は行われず、チャンネルの波長幅は広い。一方、波長多重通信系は高密度(ch間隔:10GHz(0.08nm)以下)の波長多重を行うため(最大mチャンネル)、ch間隔が保持できるように各通信ノードの光源の波長が制御され、各チャンネルの波長幅は狭くしてある。

【0048】図4に示す波長制御ノードでは、光ファイバ内の波長配置の検知、各チャンネルのシフト方向の算出、波長制御パケットの送出の一連の動作を繰り返して、各通信ノードの送信波長を制御する。

【0049】この波長制御ノードによる波長配置の検知は、波長可変フィルタ42の透過波長を波長多重通信系の波長範囲全域にわたり掃引することにより行われる。掃引のステップは、各通信ノードが発光している波長を必ず検知するために、波長可変フィルタ42の透過スペクトルの半値幅より小さく設定する(例えば透過スペクトルの半値幅が1GHzでは、ステップは0.25GHz)。この場合、1つのチャンネル波長に対し、連続する複数のステップで識別器46の出力が‘1’になる。

波長制御系41はその中心のステップを波長の位置とみなす。波長制御系41は波長可変フィルタ42の掃引を電圧で制御するため、各波長の位置関係は波長可変フィルタ駆動回路43への制御電圧から換算される。尚、波長可変フィルタ42の電圧波長特性は非線形性をもっている。波長制御系41には予めこの特性を記憶しており、制御電圧から波長配置を正しく検知できる。

【0050】発光している各通信ノードの送信波長のシフト方向は次のようにして決められる。最も長波長寄りにある波長をch1とし、以下短波長側にch2, ch3とする。ch2はch1から所定のch間隔だけ短波長寄りの位置になるようにシフト方向が決められる。ch3はch1からch間隔の2倍だけ短波長寄りの位置になるようにシフト方向が決められる。同様にchmはch1からch間隔の(m-1)倍だけ短波長寄りの位置になるようにシフト方向が決められる。

【0051】図5に示す波長可変LD52の1ステップでのシフト量は、波長多重通信系の受信用の波長可変フィルタ53の透過スペクトルの半値幅より小さくする(例えば透過スペクトルの半値幅1.5GHzに対してシフト量を0.5GHz)。

【0052】つぎに、通信ノードへのチャンネルの割当は次のようにして行う。送信波長の発光を発光開始以前に送られてきた波長制御パケットで波長制御コード‘00’のデータをもつ最も番号の小さいチャンネルが、その通信ノードに割り当てられる。以後、この通信ノードは次の2つの状態になるまで、このチャンネルの波長制御コードにより波長を制御する。

【0053】(1) 通信が終了し、発光を停止する状態。

【0054】(2) 自分のチャンネルより番号の小さいチャンネルの波長制御コードが‘00’になる状態。

【0055】この(2)の状態では1つ番号の小さいチャンネルが割り当てられ、以後、このチャンネルの波長制御コードに従う。

【0056】以上の波長制御方法の動作の具体例を、図2を参照しつつ説明する。

【0057】(a) 発光開始時

発光開始前の波長多重通信系の波長配置は最上段のように、ch1~ch4の波長配列になっているとする。なお、パケット通信系の波長配置は省略している。既に4つのチャンネルが使用され、ch1を基準に所定のch間隔で波長配置が保持されている(実線と点線が一致)。この波長配置での波長制御パケットの波長制御コードは、ch1~ch4までが‘11’で、ch5以降が‘00’である。波長制御コードが‘00’で最も番号が小さいチャンネルはch5なので、発光を開始する通信ノードのチャンネルはch5になり短波長側から発光を開始する。発光開始後の波長配置は中段のようにch5のみがズレている(実線と点線がズレている)。こ

の波長配置での波長制御コードはch1~4までが‘11’, ch5が‘01’, ch6以降が‘00’になる。このch5の通信ノードはこの波長制御パケットを受信後、波長を長波長側にシフトさせる。ch5の波長制御コードは波長配置図で実線と点線が一致するまで‘01’のままで、このch5の通信ノードは波長制御パケットを受信する度に波長を長波長側にシフトさせる。こうして発光開始時の混信を防止でき、隣接するチャンネルと一定の波長間隔に早期に移動できる。

(b) ズレの補正

図2(b)の上段は、5つのチャンネルが使用され、ch1を基準としたch間隔毎の波長配置からch2とch4がズレている様子を示す。ch2は短波長側に、ch4は長波長側にズレている。この波長配置での波長制御コードは、ch1, ch3, ch5が‘11’, ch6以降が‘00’, ch2が‘01’, ch4が‘10’になる。ch2を使用している通信ノードは、この波長制御パケットを受信後、波長を長波長側にシフトさせる。ch4を使用している通信ノードは、この波長制御パケットを受信後、波長を短波長側にシフトさせる。これにより、図2(b)の下段のように波長配置のズレは補正される。

(c) 空きスペース解消

図2(c)の上段は、使用されていた5つのチャンネルのうちch2を使用していた通信ノードが通信を終了し、発光を停止した時の様子を示している。ch1とch3の間に空きスペース(ch間隔の2倍より大きいスペース)ができています。この状態後、最初の波長制御パケットの波長制御コードはch1, ch3, ch4, ch5が‘11’, ch2, ch6以降が‘00’である。この波長制御パケットを受信したch3以降を使用していた通信ノードはch2が“未使用状態”になったことを認識し、自分に割り当てられているチャンネル番号を1つづつ小さくする。次に送られてくる波長制御パケットの波長制御コードはch1が‘11’, ch2~ch4が‘01’, ch5以降が‘00’になる。ch2~ch4を使用している通信ノードは、この波長制御パケットを受信後、波長を長波長側にシフトさせる。ch2~ch4の波長制御コードは波長配置図で各チャンネルの実線と点線が一致するまで‘01’のままで、ch2~ch4を使用している通信ノードは、波長制御パケットを受信する度に波長を長波長側にシフトさせる。ch2~ch4の各通信ノードが所望の送信波長になったとき、図2(a)と同様の波長配置となる。

【0058】本実施形態では、波長制御ノードは、図4に示すようにパケット通信系の受信機能を持つ必要がなく、構成が簡単になる。また、各通信ノードでも、波長配置状態を検出する波長可変フィルタ、識別器などを必要とせず、構成が簡単になり、総合的にローコストで多重波長通信システムを構成できる。

【0059】〔第2実施形態〕本実施形態では、波長制御ノードはパケット通信系の受信機能を備え、波長制御パケットの送信を、所定タイミング毎に行うのではなく、必要に応じて行うことに特徴がある。全システムの構成図は上述の図1と同様である。

【0060】図7は本実施形態での波長制御ノードの構成図である。第1実施形態（図4）との相違は、パケット通信系の受信機能を備えることである。パケット通信系の受信機能は受光素子510、受信回路511、光分波器513で構成される。これら各構成要素の機能は図5の各通信ノードで使用されたものと同じである。

【0061】本実施形態では、波長制御ノードは波長制御パケットを一定時間毎に送出するのではなく、次の3つの場合にのみ波長制御パケットを送出する。

【0062】（1）発光を開始する通信ノードがあるとき、（2）波長配置にズレがあるとき、（3）空きスペースができたとき。

【0063】波長配置の検知は、パケットの送出時間間隔より短い一定時間毎に行われ、さらにパケット通信系で通信ノードからの発光開始の要求があった後に行われる。チャンネルの使用はパケット通信系によるデマンド・アサインにより行われる。その他の構成、動作については、第1実施形態と同様である。

【0064】各通信ノードが自端局から他端局への通信伝送を行おうとするとき、まずパケット通信系の伝送路を介して発光開始予定有りのコードをパケット通信系の非伝送中に発光送信する。また、送信発光していた通信を停止使用とするときもその旨のコードをパケット通信系に発光送信する。波長制御ノードは、光合波器513を介して、パケット通信系の1.3 μ m帯の光信号を受光素子510で電気信号に変換し、受信回路で各通信ノードから送信されたコードを受信解読し、波長制御系71に伝送する。また、波長制御系71は、波長配置にズレがあるとき、また波長停止を検出したときは、識別器46からそのことを検出し、上記（1）～（3）のそれぞれに対応して、波長制御コードをパケット通信系により光ファイバに送出する。各通信ノードは、この波長制御コードに従って、波長多重通信系の波長配置を制御する。

【0065】本実施形態では、波長制御パケットを一定時間毎に送出する必要がないため、パケット通信系のトラフィックを通信ノード間の他の通信に有効に利用することができる。また、波長多重通信のチャンネルの使用をパケット通信系によるデマンド・アサインにより制御しているため、同時使用による混線が回避できる。

【0066】なお、上記実施形態では、最長波長のチャンネルを基準とした例を示したが、短波長側を基準に配置してもよい。

【0067】制御方式を適用する波長制御ノードおよび通信ノードの各構成要素は同様の機能を有するものなら

ば、実施形態記載のものに限定されるものではない（いくつかの構成要素からなる系についても同様である）。また、実施形態で用いた数値の動作の許容範囲であれば記載の値に限定されるものではない。

【0068】上述したように、第1実施形態及び第2実施形態により、分散配置された通信ノードで構成される波長多重通信系の隣接するチャンネルの波長間隔を一定に保つ高密度波長多重通信システムで、システム内の通信ノードに波長配置の検知のための波長可変フィルタを波長多重信号受信のためのフィルタとは別個に備える必要がなくなり、通信ノードの構成を簡単にし、安価にすることができる。

【0069】また、第1実施形態によれば、上記の通信システムにおいて、波長制御ノードのパケット通信系の受信機能を不要にし、波長制御ノードを安価にすることができる。

【0070】また、第1実施形態及び第2実施形態によれば、上記の通信システムにおいて、制御パケット信号により、波長多重通信系で発光開始時の混信を防ぐことができる。

【0071】〔第3実施形態〕本実施形態では、上述の第1、第2実施形態のように波長制御ノードを設けることに對して、非受信状態の通信ノードを、波長制御ノードとして機能させ、波長多重通信系の通信ノードの受信部に具備する波長可変フィルタを波長制御用の波長配置検知手段としている。

【0072】本実施形態においては、定常状態では通信ノード内の1つが波長制御パケットを送出し、定常状態を維持する。非定常状態（あるチャンネルが発光を開始した場合、および発光を停止した場合）では、送信のため発光を開始したチャンネル、あるいは発光を停止したチャンネルを受信する通信ノードが波長制御パケットを送出し、定常状態へ移行する。

【0073】以下、図面を用いて詳細に説明する。図8はシステム構成図である。図1から波長制御ノード61、および光ファイバ62、63を削除した構成になっている。端局211～21nは電気信号のデータを送受信し、通信ノード221～22nは端局211～21nと電気信号で送受信し、光/電気信号に変換すると共に、後述の波長制御機能を備え、スターカブラ23は光ファイバ241～24nから受けた光信号を光ファイバ251～25nに分配し、かかる構成で波長多重通信システムが成立している。

【0074】図9は、本発明の波長制御方法での波長制御役の移行の様子を示している。上方から下方に向かって時間軸をとり、波長制御パケットの送出のタイミングを示す（T1p1～T1p15）。また、T1daは1つの通信ノードが非定常状態において波長制御役になっている間の波長制御パケット送出の間隔である。図に示すのは、1) 定常状態→11) チャンネル発光開始によ

る非定常状態→ III) 定常状態→ IV) チャンネル発光停止による非定常状態→ V) 定常状態の状態遷移例である。

【0075】図10は図8に示した通信ノード221～22nの構成図であり、図5と異なる点は、波長制御系31へ受光素子58から増幅器316と識別器317とを介して光ファイバ中の波長を検出した検出信号を入力し、パケット通信系の信号か又は波長制御系31の信号かを選択する信号選択スイッチ318を制御する点である。

【0076】さらに具体的に説明すれば、ここで、波長制御系31はパケット通信系の受信回路511からの波長制御パケットの内容に基づき、波長可変LD駆動回路54を介して波長可変LD52を制御して発光波長を移動又は維持などする。また、波長可変フィルタ駆動回路55を介して波長可変フィルタ53の波長を制御する。波長多重通信系の受信時には、チャンネルの中から自局宛てのチャンネルの波長に波長可変フィルタ53の波長を一致させる。非受信時には、波長可変フィルタ53の波長を波長多重通信系の波長範囲全域で掃引し、その時の識別器317の出力を基に波長配置検知を行い波長制御パケットを生成する。

【0077】また、波長可変LD52は波長多重通信系の送信用光源である。また、波長可変フィルタ53は波長多重通信系の受信及び波長配置を検知に用いられる。さらに、波長可変LD駆動回路54は、電圧制御型電流源であり、波長制御系31からの制御信号に対応した波長になるように波長可変LD52を駆動（電流を注入）する。また、波長可変フィルタ駆動回路55は電圧制御型電圧源である。波長制御系31から波長制御信号とロックON/OFF信号が入力される。受信チャンネル選択時及び非受信時にはロックOFF状態であり、濾過波長を走査するために、波長制御系31からの制御信号に対応した波長になるように波長可変フィルタ53を駆動する。受信時にはロックON状態であり、受信チャンネルの波長に波長可変フィルタ53の波長をロックする。

【0078】また、光変調器56および光変調器駆動回路57は、端局211～21n中接続されている端局から入力される波長多重通信系の送信信号で波長可変LD52の出力光を強度変調するためのものである。波長可変LD52に注入する電流で直接変調した場合、0.1nm程度の波長変動が生じるため、光変調器56による外部強度変調の方法が好適に用いられる。

【0079】また、受光素子58および受信回路59は波長多重通信系の受信のためのものである。波長可変フィルタ53で選択されたチャンネルの光信号を電気信号に変換し、例えばデジタル信号の通信情報として再生する。再生された受信信号は端局に出力される。

【0080】また、増幅器316は受光素子58の出力を増幅し、識別器317はその信号をしきい値と比較

し、しきい値以上の場合は‘1’、未満の場合は‘0’のデジタル信号を波長制御系31に出力する。そうして、波長制御系31が波長可変フィルタ駆動回路55に供給している制御電圧と対応させて、波長制御系31は識別器317が‘1’を出力している波長が何チャンネルの波長かを検出する。

【0081】さらに、LD47はパケット通信系の光源であり、波長は例えば1.3μm帯である。LD駆動回路48はLD47を信号選択スイッチ318からの信号で変調する電流源である。本実施形態においてはパケット通信系では高密度な波長多重は行わないため、LD47は直接強度変調される。

【0082】また、信号選択スイッチ318は、端局からのパケット通信系の送信信号と波長制御系31からの波長制御パケットの一方を選択して、LD駆動回路48に入力する。ここでは、波長制御パケットが優先される。上述した図3に示す波長制御パケットのデータ形式によるデータを含み、2つの信号が同時に入力された場合は、端局からの送信信号を波長制御系31内部のバッファ内に待避させ、波長制御パケット送出後に送出する。

【0083】また、受光素子510、受信回路511はパケット通信系の信号を受信するためのものである。

【0084】また、光合波器514は波長1.5μm帯の波長多重通信系の光信号と、波長1.3μm帯のパケット通信系の光信号とを合波し、光ファイバに出力する。一方、光分波器513は光ファイバから入力する光信号を波長帯で分離し、1.5μm帯の光信号を波長可変フィルタ53に入力し、1.3μm帯の光信号を受光素子510に入力する。

【0085】本実施形態においては、全ての通信ノードは非受信状態では波長可変フィルタ53を用いて波長配置検知の可能性をもっている。波長可変フィルタ53の波長を波長多重通信系の波長範囲全域に渡って掃引し、その時の識別器317の出力を監視し、各チャンネルの波長配置を検知する。

【0086】定常状態では、非受信状態の通信ノードの1つが波長制御役になり、非定常状態（あるチャンネルが発光を開始した場合、および発光を停止した場合）では発光を開始したチャンネルあるいは発光を停止したチャンネルを受信する（受信開始直前及び受信終了直後の）通信ノードが波長制御役になるようにするため、波長配置検知、波長制御パケット送出のタイミングを以下のようにする。尚、ここで受信開始直前とは発光開始時の非定常状態から定常状態になるまでの間をいい、受信終了直後とはいずれかの通信ノードの発光停止時の非定常状態から定常状態になるまでの間をいう。

【0087】以下に、波長配置検知及び波長制御パケット送出のタイミングについて説明する。

【0088】受信開始直前もしくは受信終了直後では、

その状態になった直後の波長配置検知の後、①自ノードが波長制御パケットを送出する条件（後述）を満たした場合は、該波長配置検知から ΔT 後に波長制御パケットを送出し、該送出から $T1da - \Delta T$ （ ΔT は波長制御パケットを送出する場合の、波長配置検知から波長制御パケットの送出までの間の時間であり、 $T1da$ より短い所定の時間である。 ΔT は例えば $0.5 \times T1da$ である。）後に次の波長配置検知を行う。その後自ノードが波長制御役でなくなるまでは、 $T1da$ 周期で波長配置検知、及び波長制御パケットの送出を行う。②自ノードが波長制御パケットを送出する条件を満たさない場合は、他のノードが送出した波長制御パケットを受信することになるので、該他のノードが送出した波長制御パケットの受信から $T1db$ 後に波長配置検知を行うよう制御される。

【0089】ここで、 $T1db$ は $T1da$ よりも長い所定の時間（例えば $2 \times T1da$ ）であり、受信開始直前もしくは受信終了直後の他のノードが波長制御役となっており、該他のノードが $T1da$ 間隔で波長制御パケットを送出している限りは、自ノードは1つの波長制御パケットの受信から次の波長検知を行うまでの $T1db$ の間に次の波長制御パケットを受信することになるので、該他のノードが波長制御パケットを $T1da$ 間隔で送出している限りは波長配置検知及び波長制御パケットの送出を行うことはない。

【0090】自ノードが受信開始直前もしくは受信終了直後の状態にある間に該他のノードが波長制御パケットの送出を止めた場合で、更に他の受信開始直前もしくは受信終了直後の状態になるノードが波長制御パケットを送出しないときは、波長制御パケットを送出する条件を満たすことになるので、その後①の動作を行う。

【0091】ここで、受信開始直前もしくは受信終了直後の状態における波長制御パケットを送出する条件は、“（1）波長配置検知の後 ΔT の間に波長制御パケットを受信しない場合”である。

【0092】それ以外の非受信状態では、③自ノードが波長制御パケットを送出する条件（後述）を満たす場合は、波長配置検知から ΔT 後に波長制御パケットを送出し、該送出から $T1dc - \Delta T$ （ $T1dc$ は、例えば $2 \times T1da$ ）後に波長配置検知を行う。④自分が波長制御パケットを送出する条件を満たさない場合は、他のノードが送出した波長制御パケットを受信することになるので、該他のノードが送出した波長制御パケットの受信から $T1dd$ 後に波長配置検知を行うよう制御される。ここで、 $T1dd$ は $T1dc$ よりも長い所定の時間（例えば $4 \times T1da$ ）である。

【0093】ここで、受信開始直前もしくは受信終了直後以外の非受信状態における波長制御パケットを送出する条件は、“（2）波長配置検知の後 ΔT の間に波長制御パケットを受信しない場合”である。この時更に、

“（3）波長配置検知において波長配置のズレを検知した場合”を条件に加えると、不要な波長制御パケットが発生しないため好適である。

【0094】受信開始直前もしくは受信終了直後以外の非受信状態における波長制御パケットを送出する条件として（2）を採用し、（3）は採用しないときは、上記③の動作を行うノードは受信開始直前もしくは受信終了直後のノードが発生するまでは、 $T1dc$ 間隔で波長配置検知及び波長制御パケットの送出を行い、上記④の動作を行うノードは、他のノードが波長制御役となっており、該他のノードが $T1da$ もしくは $T1dc$ 間隔で波長制御パケットを送出している限りは、自ノードは1つの波長制御パケットの受信から次の波長検知を行うまでの $T1dd$ の間に次の波長制御パケットを受信することになるので、該他のノードが波長制御パケットを $T1da$ もしくは $T1dc$ 間隔で送出している限りは波長配置検知及び波長制御パケットの送出を行うことはない。該他のノードが波長制御パケットの送出を止めた場合で、更に他のノードが波長制御パケットを送出しないときは、波長制御パケットを送出する条件を満たすことになるので、その後③の動作を行う。もちろん自ノードが受信開始直前状態になった場合は、上記①もしくは②の動作を行うことになる。

【0095】受信開始直前もしくは受信終了直後以外の非受信状態における波長制御パケットを送出する条件として、上記の（2）および（3）を採用するときは、上記③の動作を行っているノードは波長配置検知を行っても、ずれを検出しない限り波長制御パケットを送出しない。よって、あるノードが上記③の動作を行っているときに、ずれが生じない場合は、動作④を行っているノードのうちの1つが波長制御パケット送出の条件を満たすこともあり、その時は該ノードが動作③に移行する。

【0096】なお、ここでいう波長配置がズレた状態とは、定常状態に含まれるものであり、図2（b）の状態、すなわち $ch1$ を基点とした一定の波長間隔の波長配置から、波長配置がズレている状態を意味する。このズレは上述の識別器317の出力と波長可変フィルタ駆動回路55への供給電圧の関係に基づき検出される。

【0097】このように、各通信ノードが制御されることにより、定常状態では、非受信状態の通信ノードの1つが波長制御役となり、上記③の動作により $T1dc$ （以上の）間隔で波長制御パケットを送出し、一括FCS制御が行われる。この時何らかの理由で③の動作を行っているノードが波長制御パケットを送出できなくなると、上記④の動作を行っている他のノードのうちの1つが波長制御役となり上記③の動作を行うようになる。又受信開始直前もしくは受信終了直後の状態になったノードが発生すると、非定常状態に移行し、該受信開始直前もしくは受信終了直後の状態のノードが波長制御役となり、上記①の動作により $T1da$ 間隔で波長制御パケッ

トの送出を行う。ここで $T1da < T1db$ であることによって上述の如く①の動作を行っているノードが波長制御パケットの送出を終了するまでは、他のノードが波長制御役になることがないことを保証される。また $T1dc < T1dd$ であることによって、上述の如く③の動作を行っているノードが波長制御パケットの送出を終了するまで、もしくは他のノードが受信開始直前状態又は受信終了直後の状態になるまでは、他のノードが波長制御役になることがないことを保証される。また特に $T1da < T1dc$ であることによって、受信開始直前もしくは受信終了直後のノードが発生している状態、すなわち非定常状態において、波長シフトの間隔を短くすることができ、よって速やかに非定常状態を解消でき、よって波長域を効率よく利用でき、波長シフトを速やかに行う必要のない定常状態では、波長配置検知及び波長制御パケットの送出の頻度を低減でき、波長制御の負荷を低減できる。

【0098】つぎに、図9に示す波長制御役の移行の具体例について説明する。この図の例では、定常状態、非定常状態の移りかわりで5つの態様に分けられる。

【0099】I) $T1p1 \sim T1p4$ 。

波長配置は定常状態である。非受信状態の通信ノードの1つである通信ノードXが波長制御パケットを送出している。前述のごとくその間隔は最少で $T1dc$ である。

【0100】II) $T1p5 \sim T1p7$ 。

$T1p4$ から $T1p5$ の間でチャンネルAが発光を開始し、波長配置は非定常状態になる。該チャンネルAを受信すべき通信ノードである通信ノードAは $T1p4$ から $T1p5$ の間に受信要求をパケット通信系で受け、受信開始直前状態になり、前記①の動作を行い、波長制御パケットの送受信と波長配置検知の間隔を $T1da - \Delta T$ にする。この結果、通信ノードAは波長制御パケットを $T1da$ 周期で送出するようになり、この波長制御パケットによる一括FCS制御により、チャンネルAの波長は、隣接チャンネルと $\Delta\lambda$ の波長間隔になり、波長配置は定常状態になる。波長配置が定常状態になったことを検知した通信ノードAは、波長可変フィルタをチャンネルAの波長に合わせた後、パケット通信系でチャンネルAの送信元の通信ノードに受信可能になったことを伝え、チャンネルAでの受信を開始する。通信ノードAは受信を開始したことにより通信制御役を降りたことになる。

【0101】III) $T1p8 \sim T1p10$ 。

I)と同様に、通信ノードXが通信制御パケットを送出する。

【0102】IV) $T1p11 \sim T1p13$ 。

$T1p10$ と $T1p11$ の間でチャンネルBが発光を停止し、波長配置は非定常状態になる。チャンネルBを受信していた通信ノードBは、受信終了直後状態となり、前記①の動作を行い、波長制御パケットの送受信と波長

配置検知の間隔を $T1da$ にする。この結果、通信ノードBは波長制御パケットを $T1da$ 周期で送出するようになり、この波長制御パケットによる一括FCS制御によりチャンネルBが発光を停止したことによってできた空き波長領域は詰められ、波長配置は定常状態になる。波長配置が定常状態になったことを検知した通信ノードBは、波長制御パケットの送受信と波長配置検知の間隔を $T1dc$ にする。

【0103】V) $T1p13 \sim T1p15$ 。

I)と同様に通信ノードXが通信制御パケットを送出する。

【0104】尚、波長多重系で1対多通信が行われた場合は、波長多重通信系の利用可能なチャンネル数が通信ノード数より少ないにも係わらず、非受信状態の通信ノードが無い状況が起こりえる。この状況では波長制御役の通信ノードが無くなってしまい、場合によっては隣接チャンネル間の混信が発生する。この場合は、混信を検知した通信ノードが受信を停止し、送信元の通信ノードに受信を停止することをパケット通信系で伝えた後、波長制御役となる。波長配置のズレが補正された後、元の受信チャンネルに光フィルタの波長を合わせ、送信元に受信可能状態になったことを伝え、受信を開始する。

【0105】または、1対多通信の情報送出を行う通信ノードが自局の受信部が受信している場合は殆どないので、波長多重通信系で送信すると共に、通信制御パケットを通信パケット系に制御用パケットを送出して、波長制御役となることもできる。

【0106】本実施形態では、波長制御役の移行をパケット通信系での通信無しで行うことができ、パケット通信系に不要なトラフィックを発生させることが無い。

【0107】〔第4実施形態〕本実施形態では、パケット通信系での通信により波長制御役の移行を行う。ネットワーク起動時に1つの通信ノードが波長制御役になり、自分が受信状態になる前に、他の通信ノードに対して波長制御役の終了通知を行う。この通知を受信した非受信状態の通信ノードは、波長制御役の可能通知を行う。現在波長制御役となっている通信ノードは波長制御役の可能通知を出した通信ノードの中から1つを選択し、その通信ノードに波長制御役の移行通知をパケット通信系を用いて行う。波長制御役の移行通知を受けた通信ノードが波長制御役となる。この通信ノードが受信状態になる時には同様の手順により波長制御役の移行を行う。

【0108】本実施形態による波長多重通信システムは図8と同様であり、また通信ノードの構成は、図10と同様であるので、説明を省略する。

【0109】図11に、本実施形態での波長制御役の移行の一例を示す。上方から下方に向かって時間軸をとり、波長制御パケットの送出のタイミングを示す ($T2p1 \sim T2p14$)。ここで、 $T2p4$ から $T2p11$

の部分は移行のためのパケット通信が密に行われるため拡大してある。また、T2dは波長制御役の通信ノードの波長配置検知の繰り返し周期である。波長制御役の通信ノードは、波長配置にズレが検出された時のみ（非定常状態も含む）、波長制御パケットの送出を行う。結果として波長制御パケットの最短の送出間隔はT2dとなる。図では通信ノードAから通信ノードBに波長制御役が移行した様子を示している。

【0110】本実施形態では、波長制御役の移行が確実に行われるため、定常状態で波長配置にズレが発生した場合にそのズレを必ず解消し、隣接チャンネル間の混信を防ぐことができる。

【0111】図11において、タイミングT2p1～T2p4で、波長制御役の通信ノードAが、受信用光ファイバの伝送路中の光信号の波長を掃引して、チャンネル番号とその波長とを検出して、第3実施形態にて説明した動作と同様に、波長の維持・移行に関する制御情報を波長制御パケットとして送出している。タイミングT2p5の前に、通信ノードAが情報の受信を要する事態を生じたので、T2p5で自局が波長制御役を終了する旨の波長制御役の終了通知をパケット通信系に送出する。この終了通知に対応して、T2p6で通信ノードBが、T2p7で通信ノードCが、T2p8で通信ノードDが波長制御役の可能通知をパケット通信系を通じて通信ノードAに通知する。T2p9では通信ノードAは通常同様に波長制御パケットを送出する。さらに、T2p10で波長制御役の可能通知を受けた通信ノード中通信ノードBを選別し、通信ノードB宛に波長制御役の移行通知をパケット通信系に送出する。

【0112】そうすると、通信ノードBは、移行通知をパケット通信系を通して、自局の波長可変フィルタの波長を掃引して、波長多重通信系の光信号の波長配置を検知し、タイミングT2p11で通信ノードAが送出していた波長制御パケットのデータ形式と同様に、波長制御役として、波長制御パケットをパケット通信系に送出する。タイミングT2p12～T2p14では、通信ノードBは継続して波長制御パケットを送出して、受信状態になる時まで続行する。

【0113】〔第5実施形態〕本実施形態では、波長制御役として動作する際に、端局からの送信パケットと、波長制御パケットとが、パケット通信系の送信部で衝突を起こすことを避ける方法について説明する。

【0114】図10の通信ノードの構成で、波長制御パケットの送出経路として、波長制御系31から信号選択スイッチ318を経て、LD駆動回路48に至る例を挙げたが、波長制御系31で生成した波長制御パケットのデータを一旦、端局に送り、端局が通信制御役としてのパケット通信系のパケットのデータと、端局自体がパケット通信系にて送信しようとするデータとを適切に配列してから送信信号として、LD駆動回路48に直接入力

するようにしてもよい。この場合は信号選択スイッチ318は不要になる。

【0115】また、他の構成要素についても同様の機能を有するものならば、第3～第5実施形態記載のものに限定されるものではない。また、いくつかの構成要素からなる系についても同様である。

【0116】また上記実施形態では、全ての通信ノードに波長制御パケット系の構成を備えた例を示したが、システム上のコスト的要求や経験則などから、全通信ノードとせず、その一部の複数の通信ノードに波長制御パケット系を構成してもよい。その場合、波長制御役となりえるのはこの複数の通信ノードに限られるが、第1、第2実施形態で示した波長制御ノードを1つ又は2つとするよりも、通信可能性と通信安定性、通信の信頼性の面で有効である。

【0117】上述したように、第3実施形態乃至第5実施形態では、非受信状態の通信ノードが波長制御役となることにより、各通信ノードは受信用の波長検出手段（波長フィルタ）と波長配置検知用の波長検出手段の双方を備える必要がなく、かつ、第1、第2実施形態で説明した場合の専用の波長制御ノードを不要とすることができる。また、第3実施形態乃至第5実施形態によれば、波長制御を頻繁に行わなければならない非定常状態で、特に波長制御役が波長制御パケットを確実に送出することができる。

【0118】また、第3実施形態によれば、波長制御役の移行をパケット通信系での通信なしで行うことができ、パケット通信系に不要なトラフィックを発生させることが無い。また、第3実施形態乃至第5実施形態によれば、波長制御役の移行が確実に行われるため、定常状態で波長配置にズレが発生した場合にそのズレを確実に解消し、隣接チャンネル間の混信を防ぐことができる。

【0119】〔第6実施形態〕本実施形態では、波長多重通信システムのネットワーク内に2台の波長制御ノードを設置し、第1、第2実施形態による1台の波長制御ノードが故障した場合でも、残りの波長制御ノードが波長制御パケットを送出し、通信ノードの波長制御を行うことができるようにしている。

【0120】本実施形態では、波長制御ノードはパケット通信系の送受信機能を備える。2台の波長制御ノードの内、1台は主として現行稼働し、1台は予備となる。現行稼働中の波長制御ノードは一定時間間隔で波長制御パケットを送出し続ける。予備の波長制御ノードは現行稼働中の波長制御ノードによる波長制御パケットの間隔を監視し、その間隔が一定時間以上となった場合に、現行稼働中の波長制御ノードが故障したと判断し、代わって稼働し、波長制御パケットの送出を開始する。

【0121】以下、本実施形態について、図面を用いて詳細に説明する。

【0122】図12は、本実施形態を適用する波長多重

通信システムの構成図である。図1との相異は、波長制御ノード361、362が2台あり、その接続のため光ファイバ371、372、381、382を有する点である。

【0123】稼働中の波長制御ノード1361は、

(1) 待機、(2) 波長多重通信系の波長配置の検出・検知、(3) 通信ノード321～32nの各チャンネルの波長間隔を一定にするための各通信ノードの送信器の波長のシフト方向の算出、(4) 波長制御パケットの送出、の一連の動作サイクルを一定周期T3daで繰り返す。ここで(1) 待機は波長制御パケットがネットワーク内の全ての通信ノードに受信され、各通信ノードが送信波長のシフトが完了するのを待つためのものである。

【0124】また、上記波長制御ノード361、362の構成例は図4で説明したものと同一であるので、説明を省略する。また波長制御ノード1361、波長制御ノード1362及び通信ノードが用いるパケット通信系と波長多重通信系とは、第1実施形態で用いた方法と同様であり、又通信ノード321～32nの構成は図5で説明したものと同一であるので、それらの詳細な説明は、第1実施形態での説明に譲る。

【0125】図12は、第6実施形態での波長制御ノードの動作例を示す説明図である。ここで、波長制御パケットが送出される様子を示している。上方から下方に向かって時間軸をとり、波長制御ノードの動作(波長制御パケットの送出、故障の検知)のタイミングを示す。T3p1～T3p4、T3p6、T3p7は波長制御パケットの送出、T3p5は故障の検知したときである。また、T3daは波長制御ノード1361が正常に動作している場合の波長制御パケットの送出間隔、T3dbは予備の波長制御ノード1362が稼働中の波長制御ノードが故障したとみなす間隔、T3dcは予備の波長制御ノード1362が稼働中の波長制御ノード1361の故障を検知してから最初の波長制御パケットを送出するまでに要する時間である。T3da、T3dbは、トポロジーあるいはプロトコルによるパケットの伝搬遅延に対するマージンをもっている。

【0126】稼働中の波長制御ノード1361は、波長多重通信系の波長配置の検知、各通信ノード中送信している各チャンネルの波長間隔を一定にするための各通信ノードの送信器の波長のシフト方向の算出、波長制御パケットの送出を一定周期T3daで繰り返す。これにより、ネットワークには一定間隔T1daで波長制御パケットが送出される。図1の例では、T3p1からT3p4まで31da間隔で波長制御パケットを送出している。

【0127】予備の波長制御ノード1362は、波長制御ノード1の波長制御パケットの送出時間を波長制御系41内のカウンタでカウントし、その送出時間の間隔から、稼働中の波長制御ノード1の故障を検知する。ある

波長制御パケットを受信してからT3db時間の間に次の波長制御パケットを受信しなかった場合に、稼働中の波長制御ノード1が故障したと判断し、波長制御ノード11が取って代わり主の波長制御ノードとして稼働を開始する。図13の例ではT1p4からT1p5の間にT3db以上の時間に光ファイバ中に波長制御パケットが伝送されなかったため、稼働中の波長制御ノード1が故障していると判断する。予備の波長制御ノード11はT3p4で波長制御パケットを受信してから、T3p5の間に波長制御パケットを受信しなかったため、主の波長制御ノードとして稼働を開始する。波長制御ノード11は光ファイバの各通信ノードによる送信波長の検知、波長のシフト方向の算出を行った後、T3p6(T3p4からT3db+T3dc後)に波長制御パケットを送出する。T3dcは波長制御ノード11の一連の動作で“待機”の部分抜き出した時間である(T3dc<T3da)。以後、主の波長制御ノードとしての動作を繰り返し、T3da間隔で波長制御パケットを送出する(図1のT3p6、T3p7)。

【0128】尚、波長制御ノードによる主と予備の違いは形式的なものであり、その構成及び動作作用は異なることはない。稼働開始後は予備の波長制御ノード11は主の波長制御ノードとなる。

【0129】波長制御ノードが各通信ノードに伝送する波長制御パケットには、第1の実施形態で用いた図3のデータ形式であってもよく、また他のパケットと同様に送り手アドレスを付加してもよい。送り手アドレスを付加した場合、ネットワーク管理者は、波長制御パケットの送り手アドレスを監視することにより、故障した波長制御ノードを割り出すことができる。図13の例ではT3p1からT3p4までの波長制御パケットの送り手は波長制御ノード1であり、T3p6とT3p7の波長制御パケットの送り手は波長制御ノード11である。T3p4とT3p6で送り手アドレスが変わるため、T3p4まで稼働していた波長制御ノード1が故障したことがわかる。これにより波長制御ノード1をネットワークから外して修理し、再びネットワークに接続し、波長制御ノード11の故障に備えることができる。

【0130】又、上記実施形態では、2台の波長制御ノードを具備する例を示したが、2台以上であってもよく、その場合予備としての機能が重なるので、よりシステムの信頼性が向上し、好ましい構成となる。

【0131】〔第7実施形態〕本実施形態も、第6実施形態と同様に、波長制御ノードはパケット通信系の送受信機能を備える。2台の波長制御ノードは同時に稼働し、共に正常動作している時には、交互に波長制御パケットを送出する。また、波長多重通信システム及び波長制御ノード、各通信ノードの構成については、第6実施形態で説明した内容と同じであり、詳細な説明を省略する。

【0132】以下、本実施形態について、図14を参照して説明する。図14は、第7実施形態での波長制御ノードの動作の一例を示す説明図である。図には波長制御パケットが送出される様子を示している。上方から下方に向かって時間軸をとり、波長制御ノードの動作（波長制御パケットの送出）のタイミングを示す。T4p1, T4p2, …, T4p7は波長制御パケットの送出タイミングである。また、T4daは波長制御ノード1361, 波長制御ノード11362共に、正常に動作している場合の波長制御パケットの送出間隔、T4dbはどちらか一方の波長制御ノード、ここでは波長制御ノードIが故障し、他の一方の波長制御ノード、ここでは波長制御ノードIIのみが稼働している場合の波長制御パケットの間隔である。間隔T4da, T4dbとも、トポロジーあるいはプロトコルによるパケットの伝搬遅延に対するマージンを持っている。

【0133】本実施形態では、正常状態では2つの波長制御ノードが同時に稼働し、波長制御パケットを交互に送出する。そのために、波長制御ノードの動作サイクルは、波長制御パケットの受信を起点にして行われ、その“待機”時には2通りの値が設定される。T4daは自分以外の波長制御ノードが送出した波長制御パケットを受信してからの動作サイクルの“待機”時間、T4dbは自分が送出した波長制御パケットを受信してからの動作サイクルの“待機”時間である。動作サイクルの途中で波長制御パケットを受信した場合は、動作をリセットし、再び新しい動作サイクルに入る。T4da < T4dbとすることにより、正常状態での2つの波長制御ノードの波長制御パケットの送出を交互に行わせることができる。

【0134】図14の例では、T4p1からT4p6までは、波長制御ノードIと波長制御ノードIIが交互に間隔T4daで波長制御パケットを送出している。T4p6とT4p7の間で波長制御ノードIが故障し、T4p6からT4da後に波長制御ノードIから波長制御パケットが送出されなかったため、波長制御ノードIIの動作サイクルがリセットされず、T4p6からT4db後のT4p7に波長制御ノードIIから波長制御パケットが送出される。以後、波長制御ノードIIの動作サイクルはリセットされることなく、波長制御パケットは波長制御ノードIIからT4db間隔で送出される（図14のT4p8）。

【0135】故障した波長制御ノードの割り出しは、第6実施形態と同様に波長制御パケットの送り手アドレスを監視することにより行うことが可能である。図14の例ではタイミングT4p1からT4p6までは2つの波長制御ノードから波長制御パケットが交互に受信され、タイミングT4p7以降は波長制御ノードIIのみから送り手アドレス（波長制御ノードIIのアドレス）を付加した波長制御パケットが受信される。これによりタイミン

グT4p7以降は波長制御ノードIが故障したことがわかる。波長制御ノードIの故障を、ネットワーク管理者が知覚した場合、波長制御ノードIをネットワークから外して修理し、再びネットワークに接続し、再び2つの波長制御ノードが交互に波長制御パケットを送信するようにすることができる。

【0136】上記実施形態では、2台を同時に、送出は交互に稼働するので、両者に同等の負担を与え、故障の頻度も両者ともに同等となり、システム上のバランスがよくなる。

【0137】〔第8実施形態〕本実施形態では、波長制御ノードはパケット通信系の送信機能のみを備える。波長多重通信システム、及び波長制御ノード、通信ノードの各構成は、第6実施形態で説明した内容と同じである。2台の波長制御ノードの内、1台は主として現行稼働し、1台は予備となり、第7実施形態と同様なパケット通信系の動作を行う。現行稼働中の波長制御ノードは、一定時間間隔T5で波長制御パケットを送出し続ける。予備の波長制御ノードは波長検知のみを行い、伝送路中の波長配置を監視する。そして、以下の2つの場合に、現行稼働中である主の波長制御ノードが故障したと判断し、代わって予備から主の波長制御ノードとして稼働を開始し、波長制御パケットの送出を始める。

(1) 通信ノードによる送信波長の隣接するチャンネルの波長間隔が、予め設定されたch間隔より小さく（例えば、ch間隔の2/3）なった場合、(2) 通信ノードによる送信波長の隣接するチャンネルの波長間隔が、所定のch間隔より大きい（例えば、2倍）状態で、時間間隔T5より十分長い間（例えば、T5の5倍）、その波長間隔が小さくならない場合、に、予備の波長制御ノードであったものが、主の波長制御ノードとして、波長制御パケットを送信して、各通信ノードの送信波長を制御する。

【0138】尚、故障した波長制御ノードの割り出し等については第6実施形態と同様である。

【0139】この第8実施形態によれば、波長制御ノードは波長制御パケットの受信タイミングに依らず検知した波長配置に基づいて波長制御パケットの送出を行なうので、各波長制御ノードは夫々パケット通信系の受信機能を持つ必要がなく、構成が簡単になる。

【0140】また、第6実施形態での主の波長制御ノードの故障の検知は、波長制御パケットの送出間隔以外でも可能である。例えば、予備の波長制御ノードが一定時間間隔で主の波長制御ノードとパケット通信系で通信を行い、その稼働状態を監視してもよい。

【0141】また、第7実施形態での波長制御パケットの送出を交互に行わないようにすることも可能である。例えば、波長制御ノードIの動作サイクルの“待機”時間を波長制御ノードIIの“待機”時間より短くすることにより、波長制御ノードIが稼働中は波長制御ノードI

のみが波長制御パケットを送出する方式もある。

【0142】さらに、第8実施形態での主の波長制御ノードの故障の検知のための波長間隔、時間の具体例は通信システムの動作に支障が無い範囲であるならば、別な値でもよい。

【0143】第6乃至第8実施形態によれば、1台の波長制御ノードが故障した場合に、波長多重通信系を正常に動作させることができる。また、第6乃至第8実施形態によれば、他の波長制御ノードへの波長制御機能の移行が自動的に行われ、波長多重通信系を正常に動作させることができる。また、故障した波長制御ノードをネットワークから取り外し、修理し、再びネットワークに接続する際に、ネットワークの動作を停止させる必要が無い。

【0144】【第9実施形態】上記各実施形態では、ネットワークシステムに接続される波長制御ノード、もしくは波長制御役の通信ノードが波長制御パケットを送出する構成を示してきたが、本発明はそれに限るものではない。本実施形態ではスターカプラ近傍に波長制御パケットの生成手段を設けた構成を採用する。

【0145】Journal of Lightwave Technology誌、第11巻、第5/6号、1089頁の図3に各通信ノードが、光カプラ及び制御回路で構成されるセンターノードに接続要求を送り、該要求を制御回路で処理して波長（光周波数）割り当てを行う構成が開示されている。それに対し本実施形態では、光カプラ及びFCS制御のための手段を有するセンターノードを用いることにより絶対的に波長を固定することなく高密度波長多重を可能としている。

【0146】図15は本実施形態で用いるセンターノードのブロック図である。このセンターノードは、先の実施形態で用いたスターカプラに相当する $(N+1) \times (N+1)$ 光カプラ201と、FCS制御を行うための波長配置検出系205、光送信器206、波長多重通信制御系208を有している。

【0147】図16は本実施形態におけるネットワークの構成を示すものであり、図15に示したセンターノード1501に各光（通信）ノード321, 322, ..., 32nが光伝送路の光ファイバによって接続され、それぞれ端末311, 312, ..., 31nが接続されている。

【0148】本実施形態においては、センターノード1501内の波長配置検出系205は、前述の各実施形態と同様に、波長可変フィルタと、該波長可変フィルタの透過波長を受光する受光素子と、受光した出力を識別する識別器を有しており、ここで波長配置を検出する。波長多重通信制御系208はその結果に基づき波長シフト、波長維持等のFCS制御のための波長制御パケットを生成し、光送信器206により送出する。各通信ノードでは送られてきた波長制御パケットに基づき自ノードの送信光の波長を制御することにより高密度な波長多重

を実現することが可能となる。この構成においても各通信ノードは波長多重信号受信用の波長選択手段（波長可変フィルタ）と別個に波長配置検出手段を設けることなく、FCS制御を行うことができる。

【0149】【第10実施形態】上記第9実施形態のように、各通信ノードからの光信号が集中する部分、すなわちセンターノードに波長制御機能を与えることにより、各通信ノードから送信されてくる光信号の波長に混信等の問題が生じるときに、光路制御を行うことが可能となる。

【0150】図17は上記光路制御を行なう光センターノードのブロック図である。通信ノード数はN個とする。図17中、光センターノード内の $(N+1) \times (N+1)$ 光カプラ201は、 $N+1$ 個の光入力ポートから入力された光信号を $N+1$ 個の光出力ポートに分配する。光センターノード内部の光送信器206の出力と、および各通信ノードからの光信号との $N+1$ 個の光ファイバから入力し、光センターノード内部の光受信器207方向に、および各通信ノードに $N+1$ 個出力するように分配する。この $(N+1) \times (N+1)$ 光カプラ201は、例えばシリコン基板上に形成した石英系光導波路を用いることができ、例えば文献「C. Dragone, G. H. Henry, I. P. Kaminow, and R. G. Kistler: "Efficient multichannel integrated optics star coupler on silicon", IEEE Photonics Technol. Lett., Vol. 1, No. 8, pp. 241~243 (Aug. 1989)」に記載されている石英系光導波路を用いることができる。

【0151】また、 $N \times 1$ 光カプラ202は、各通信ノードからのN個の光入力ポートから入力された光信号を合波して1つの光出力ポートに出力する。この各通信ノードからの光合波信号を 2×1 光カプラ203に入力する。

【0152】また、 2×1 光カプラ203は2個の光入力ポートから入力された光信号を合波して1つの光出力ポートに接続する。 $(N+1) \times (N+1)$ 光カプラ201と $N \times 1$ 光カプラ202の出力を光分波器204に入力する。

【0153】この光分波器204は $1.3 \mu\text{m}$ 帯の波長と $1.5 \mu\text{m}$ 帯の波長を分離する。この光分波器204にはそれぞれ $1.3 \mu\text{m}$ 帯と $1.5 \mu\text{m}$ 帯の波長を透過するバンドパスフィルタを採用でき、例えばAOフィルタ、EOフィルタ、チューナブルDFBフィルタ、マッハチンダーフィルタ、ファブリペローフィルタ、誘電体多層膜フィルタ等のいずれかを用いることができる。

【0154】次に、波長配置検出系205は、光分波器204から入力される波長多重通信系用としての $1.5 \mu\text{m}$ 帯の波長の配置を検出し、その結果を波長多重通信制御系208に伝える。この波長配置検出系205には、波長可変フィルタとこの波長可変フィルタに制

御電圧を印加して波長を掃引する波長可変フィルター制御回路と該波長可変フィルターの出力を受光して電気信号に変換する光電変換素子と該電気信号を所定レベル以上の成分のみを出力する識別器と該識別器の出力と波長可変フィルター制御回路への制御電圧とから波長多重通信系の波長の配置を検出する波長配置検出回路とから構成することができる。

【0155】また、光送信器206はパケット通信用の光送信器である。波長多重通信制御系208からのパケット信号（電気信号；波長制御パケット等）を、1.3 μm 帯の波長の光信号に変換して送出する。この光送信器206には例えば波長可変光源と変調器と駆動回路とから構成され、波長多重通信制御系208からの駆動回路への制御信号に基づいて所定の1.3 μm 帯の波長を発光する波長可変光源を駆動し、この発光波長をパケット信号で例えば強度変調して出力する。

【0156】また、光受信器207は、パケット通信用の光受信器である。光分波器204から入力される1.3 μm 帯の波長のパケット信号（光信号）を電気信号に変換し、波長多重通信制御系208に伝える。光受信器207は例えば可変波長フィルターと光電変換素子とで構成される。

【0157】波長多重通信制御系208は、光送信器206と光受信器207を用いたパケット通信により、波長多重通信系の波長割当を行う。即ち、パケット通信には各通信ノードからの受信要求コマンドや波長制御用データをパケットとして伝送している。また、このパケットには他の情報を伝送してもよい。また、波長配置検出系205からの1.5 μm 帯の波長配置の情報を基に、各光ノードの波長可変光送信器の波長をパケット通信系により制御する。さらに1 \times 2光スイッチ111、112の接続の制御を行う。

【0158】つぎに、1 \times 2光スイッチ111、112は1入力、2出力の光スイッチで、外部（ここでは波長多重通信制御系208）からの制御信号により光入力ポートから入力される光信号を2つの光出力ポートの一方に接続する。1 \times 2光スイッチ111、112は波長多重通信制御系208により制御され、光ノードからの入力する光信号を $(N+1) \times (N+1)$ 光カブラ201あるいは $N \times 1$ 光カブラ202に出力する。

【0159】光入力ポート121、122および光出力ポート131、132は光センターノードの光入力ポートおよび光出力ポートであり、光ファイバを介して光ノードが接続される。光入力ポート121、122は光ファイバ141、142により1 \times 2光スイッチ111、112に接続される。一方、光出力ポート131、132は光ファイバ151、152により $(N+1) \times (N+1)$ 光カブラ201に接続される。

【0160】光ファイバ161、162は1 \times 2光スイッチ111、112と $(N+1) \times (N+1)$ 光カブラ

201を接続する。光ファイバ171、172が1 \times 2光スイッチ111、112と $N \times 1$ 光カブラ202を接続する。

【0161】1 \times 2光スイッチ111、112、光入力ポート121、122、光出力ポート131、132、光ファイバ141、142、151、152、161、162、171、172は図の煩雑さを避けるため2つの通信ノード分を図示したが、通信ノード数が N のシステムでは各々 N 個が備えられる。

【0162】光ファイバ181は光送信器207と $(N+1) \times (N+1)$ 光カブラ201を接続する。光ファイバ182は $(N+1) \times (N+1)$ 光カブラ201と2 \times 1光カブラ203を接続する。光ファイバ183は $N \times 1$ 光カブラ202と2 \times 1光カブラ203を接続する。光ファイバ184は2 \times 1カブラと光分波器204を接続する。光ファイバ185は光分波器204の1.5 μm 帯の光出力ポートと波長配置検出系205を接続する。光ファイバ186は光分波器204の1.3 μm 帯の光出力ポートと光受信器206を接続する。

【0163】以下、本実施形態における動作について説明する。本実施形態では、光センターノード内の光路を切り替えることにより、波長多重通信系の波長設定中あるいは暴走した光ノードの波長が、波長多重通信系の他の波長と混信するのを防ぐ。さらに、本実施形態では、光センターノード内で波長多重通信系の波長配置を検出して、光路を切り替える。光路の切り替えには1 \times 2光スイッチを用いる。

【0164】また、光路は次の2つの接続がある。

(A) "光センターノード接続"の状態

光ノードから光信号が光センターノードのみに伝わる接続である。ネットワーク内の全通信ノードへの接続は遮断される。通信ノードについて具体的に示すと次のようになる。

【0165】光入力ポート121 \rightarrow 光ファイバ141 \rightarrow 1 \times 2光スイッチ111 \rightarrow 光ファイバ171 \rightarrow $N \times 1$ 光カブラ202 \rightarrow 光ファイバ183 \rightarrow 2 \times 1光カブラ203 \rightarrow 光分波器204 \rightarrow 以後、波長帯により2つの経路に分れる

(a) 1.5 μm 帯（波長多重通信系） \rightarrow 光ファイバ185 \rightarrow 波長配置検出系205 \rightarrow 波長多重通信制御系208

(b) 1.3 μm 帯（パケット通信系） \rightarrow 光ファイバ186 \rightarrow 光受信器206 \rightarrow 波長多重通信制御系208。

【0166】尚、この接続においては、パケット通信系の光信号も光センターノード以外には伝わらないので、この接続になっている通信ノードが送出したパケットは光センターノードの波長多重通信制御系により再生・中継される。

(B) "全光ノード接続"の状態

光ノードからの光信号が光センターノードおよび全通信

ノードに伝わる接続である。通信ノードについて具体的に示すと次のようになる。

【0167】光入力ポート121→光ファイバ141→ 1×2 光スイッチ111→光ファイバ161→ $(N+1) \times (N+1)$ 光カプラ201→以後、下記の経路に分配される。

(a) →光ファイバ182→ 2×1 光カプラ203→この後は光センターノード接続と同じ、

(b) →光ファイバ151→光出力ポート131→光ノード1へ

(c) →光ファイバ152→光出力ポート132→光ノード2へ

光センターノードは、通常は波長多重通信系の波長配置を検出しつつ、各ポートを”全光ノード接続”している。通信ノード（以下、本実施形態において仮に通信ノードAと呼ぶ）からパケット通信を通して波長多重通信系の使用要求があると、波長多重通信系の波長範囲に通信可能な波長範囲があるかどうかを波長配置検出系205から送出された電気信号による波長配置から波長数と記憶している配置波長とを比較して余っている波長を調べる。通信可能な波長範囲があった場合は、通信ノードAの接続された光入力ポートを”光センターノード接続”に設定し、通信ノードAからの光信号を光センターノード以外に伝わらないようにする。その後、通信ノードAに対して波長多重通信系の使用許可、波長の割当等をパケット通信を通して光送信器を介して伝送し、余っている波長のいずれかを特定して指示する。その後、波長多重通信系の波長配置を検出し続け、通信ノードAの発光波長が波長多重通信系の他の波長と混信しなくなったのを確認した後、通信ノードAの接続されたポートを”全光ノード接続”に設定する。その後、通信ノードAに送信開始許可を伝え、それを受けた通信ノードAは波長多重通信系での送信を開始する。

【0168】以上、通信ノードの波長可変光送信器の波長設定時の、光センターノードの動作について説明したが、次に、通信ノード（通信ノードBとする）の波長可変光送信器が暴走し、波長多重通信系の隣接するチャンネルの波長に近づいた場合に、光センターノードが行う障害回避動作について説明する。

【0169】本実施形態では、光センターノードは常に波長多重通信系の波長配置を監視しているので、ネットワーク内のある通信ノードBの波長可変光送信器が暴走し、波長多重通信系の隣接するチャンネルの波長に近づいたことを検知することができる。隣接するチャンネルの波長に対して、予め設定された波長間隔（例えば混信を起こさない最小の波長間隔）になったチャンネルがあった場合には、そのチャンネルを使用している通信ノードBの接続された入力ポートを”光センターノード接続”に設定し、その通信ノードBの光信号がネットワーク内の全通信ノードへ伝わらないようにする。その後、

通常の波長多重通信系の波長配置を検出し続け、通信ノードBの発光波長が波長多重通信系の予め設定された波長間隔になったのを確認した後、通信ノードBの接続されたポートを”全光ノード接続”に設定する。その後、通信ノードBに送信開始許可を伝え、それを受けた通信ノードBは波長多重通信系で”光センターノード接続”に設定された時点からの送信を再開する。このようにすることで、隣接するチャンネルが混信を受けることを避けることができる。この場合、通信ノードの発光波長が暴走した場合以外でも、予め設定された波長間隔からはずれた通信ノードに対しても同様に制御する。

【0170】光センターノードが波長多重通信系の波長配置を常に監視し、上記のようにその内部の光路を切り替えることにより、通信ノードの波長可変光送信器の波長設定を他のチャンネルの波長と混信することなく行うことが可能になる。また、波長可変光送信器が暴走した通信ノードがあった場合に、隣接チャンネルとの混信を回避することが可能になる。

【0171】なお、上記光センターノード中各機能ブロックを光ファイバーで接続する例を示したが、構成上光ファイバーを使用せずに直接接続してもよく、特に光ファイバー184、185、186等はマッハチェンダー構成の導波路を用いて接続を短縮・小型化も可能である。また、波長配置検出系205や光受信器207、光送信器206等は上述の構成に限る必要はなく、他の構成であってもよい。

【0172】〔第11実施形態〕以下、図面を用いて本発明の第11実施形態について詳細に説明する。第11実施形態は、波長間隔が狭い高密度波長多重に適する波長制御方式に本発明の光センターノードを用いた例である。光センターノードの構成は第9実施形態で説明したものと同一である。

【0173】図18は波長制御方式の動作を示している。波長を横軸に、各光ノードの波長を縦線にして波長多重通信系の波長配置を7つの状態について示している。図中、 $\Delta\lambda$ は制御により維持される隣接する2つの波長の波長間隔であり、波長多重通信系の隣接する2つのチャンネルが混信しない最小の波長間隔にあるマージンを加えた値である。また、 λA 、 λB 、 λC 、 λD は動作の一例で用いる光ノードの波長である。

【0174】ここで、この波長制御方式について簡単に説明する。この波長制御方式では、光センターノードによる波長割当は絶対波長では行わず、隣接通信ノードの発光波長との波長間隔を制御する相対波長で行なう。光センターノードは自分の波長配置検出系を一定時間間隔で動作させ、その結果に基づき波長多重通信系の波長帯で発光している全部の通信ノードの波長を制御する。この制御はパケット通信系を用いて行われ、発光している各通信ノードの波長可変送信器の波長がその波長可変範囲内で隣接する波長と一定波長間隔 $\Delta\lambda$ を維持するよう

行われる。その結果、波長配置は、図18(1)に示すように $\Delta\lambda$ の波長間隔に並んだいくつかのグループが形成される。

【0175】具体例として、通信ノードDが波長多重通信系で送信を開始する場合(図18(1)~図18(4))と、通信ノードBが波長多重通信系で送信を終了した場合(図18(5)~図18(7))について説明する。

【0176】(A) 通信ノードDが波長多重通信系で送信を開始する場合

まず、光ファイバー151、152で伝送されている波長は図18(1)に示すように5波、3波、3波の計11波長が存在し、3つのグループが形成され、11波で相互の送受信が成されているものとする。次に、通信ノードDは送信を開始すべく波長多重通信系使用要求をパケット通信系によって光センターノードに送る。これを受けた光センターノードは波長多重通信系使用許可をパケット通信系によって通信ノードDに送る。これを受けた通信ノードDは自分の波長可変光送信器の波長を発光させる(図18(2))。尚、この時の波長は波長可変光送信器の波長可変範囲のどこでもよいが、ここでは仮にその中心付近とする。光センターノードは波長配置に新しく現われたこの波長を通信ノードDの波長 λ_D として認識する。その後、光センターノードは波長 λ_D を隣接する波長 λ_C との波長間隔が $\Delta\lambda$ になるまでシフトさせ(ここでは短波長側にシフトさせる。図18

(3))、 $\Delta\lambda$ の波長間隔になった後は $\Delta\lambda$ の波長間隔を維持するように制御する(定常状態と呼ぶ。図18(4))。

【0177】(B) 通信ノードBが波長多重通信系で送信を終了した場合

図18(4)に示すような状態から、通信ノードBが波長多重通信系での送信を終了し、波長可変光送信器の発光を停止する。光センターノードは波長 λ_A と λ_C の波長間隔が $\Delta\lambda$ より大きくなったことを検知する。光センターノードは波長 λ_B が入っていた波長配置のグループの隣接するチャンネルの波長間隔が $\Delta\lambda$ になるように制御する。このグループに属していた波長 λ_A 、 λ_C 、 λ_D のうち一番最初に発光した波長(仮に、ここでは λ_A とする)を基準に、 λ_C 、 λ_D がそれぞれ $\Delta\lambda$ の波長間隔になるように通信ノードA、通信ノードBの波長可変光送信器の波長を制御する(ここでは長波長側にシフトさせる。図18(6))。この制御により、一番最初に発光し続けている波長 λ_A と λ_C の波長間隔および波長 λ_C と λ_D を波長間隔が $\Delta\lambda$ になった後は、その状態を維持するように制御する(定常状態と呼ぶ。図18(7))。

【0178】前述の波長制御方式において、図18(2)で通信ノードDの波長可変光送信器が発光した場合、波長配置において他のチャンネルと混信する場合が

ある(ここでは波長 λ_C と混信する)。これを避けるため、本発明の光センターノードでは、波長多重通信系使用許可を通信ノードへ送出すると同時に、その通信ノードの接続された光入力ポートを、“光センターノード接続”(第10実施形態で説明)に設定し、他のチャンネルと混信しないようにする。そして、隣接するチャンネルとの波長間隔が $\Delta\lambda$ になってから(図18(4))、その通信ノードDの入力ポートを“全通信ノード接続”(第10実施形態で説明)に設定し、その通信ノードDの波長可変光送信器の光信号を全通信ノードに分配する。その後、光センターノードは波長配置検出系によって波長配置を一定波長間隔となる相対波長に基づいて制御を続行する。

【0179】また、上記通信ノードBが送信を停止した場合に、一番最初に発光した波長 λ_A を基準としたが、この基準波長は一番最後に発光した波長でもよく、当該グループ中一番波長移動が少なくなる場合の波長を基準としてもよく、上記に限定されるものではない。また、波長列のグループを少なくするために1つのグループに集束するような波長列としてもよく、上述の例に限定されるものではない。特に、波長の移動が伴う場合、その移動中の通信ノードの出力は“光センターノード接続”となるため、以下に早期に“全通信ノード接続”にできるかを予測しつつ波長配置を定めた制御方法が好ましい。

【0180】本実施形態では、通信ノードの構成を複雑化することなく高密度な波長多重を実現でき、波長多重通信系のチャンネル数を多くすることができる。

【0181】[第12実施形態] 以下、図面を用いて本発明の第12実施形態について詳細に説明する。本実施形態は第10実施形態と光路接続手段の異なる光センターノードに関するものである。

【0182】図19は本第12実施形態による光センターノードの構成図である。図17における1×2光スイッチ111、112を、4つのON/OFF光スイッチ、2つの1×2光カプラ、2つの光ファイバに置き換えている。他のブロックの機能は第9実施形態で説明した機能と同様であるので説明を省略する。

【0183】ON/OFF光スイッチ1901、1902、1903、1904は1入力、1出力の光スイッチで外部から(ここでは波長多重通信制御系208)の制御信号により、光入力ポートから入力される光信号を個別に光出力ポートに出力する状態(ON状態)と出力しない状態(OFF状態)に切り替えられる。ON/OFF光スイッチ1901、1902の光出力ポートは $(N+1) \times (N+1)$ 光カプラ201に接続される。ON/OFF光スイッチ1903、1904の光出力ポートは $N \times 1$ 光カプラ202に接続される。ON/OFF光スイッチ1901と1903の接続状態は常に逆になっている。つまりON/OFF光スイッチ1901がON

状態の時にはON/OFF光スイッチ1903はOFF状態になっている。ON/OFF光スイッチ1902と1904の状態の関係も同様である。

【0184】また、1×2光カプラ1905、1906は1つの光入力ポートから入力された光信号を2つの光出力ポートに接続する。1×2光カプラ1905は光入力ポート121からの光信号をON/OFF光スイッチ1901とON/OFF光スイッチ1903に分配する。同様に、1×2光カプラ1906は光入力ポート122からの光信号をON/OFF光スイッチ1902と1904に分配する。

【0185】さらに、ON/OFF光スイッチ1901、1902、1903、1904と1×2光カプラ1905、1906により第10実施形態と同様な光センターノード内での光路の切り替えを行う。通信ノードEが接続される光入力ポート121について具体的に示すと次のようになる。

(A) "光センターノード接続" の状態

ON/OFF光スイッチ1901はOFF状態、ON/OFF光スイッチ1903はON状態になっている。これにより、通信ノードEから光信号は光センターノードのみに伝わる。

(B) "全通信ノード接続" の状態

ON/OFF光スイッチ1901はON状態、ON/OFF光スイッチ1903はOFF状態になっている。これにより、通信ノードEからの光信号は光センターノードおよびネットワーク内の全通信ノードに伝わる。

【0186】こうして、通信ノードEが送信を開始するとき、又は通信ノードの発光波長に障害が発生した場合等には、"光センターノード接続" の状態とするためON/OFF光スイッチ1901はOFF状態、ON/OFF光スイッチ1903はON状態とし、通信ノードEの送信波長は光センターノードのみに接続され、送信波長が波長多重通信制御系208が制御する予め定められた波長になった場合、又は隣接ノードの波長と一定間隔になった場合に"全通信ノード接続" の状態となり、通信ノードEは伝送情報を送信開始する。そうして通常状態の"全通信ノード接続" の状態を持続する。

【0187】なお、光センターノードの構成に関しては、各通信ノードについて"光センターノード接続" と"全通信ノード接続" の切り替えが独立に行えるならば他の構成をとることも可能である。

【0188】また、上記第9乃至第12実施形態では、波長多重通信系制御機構（特に、波長配置検出系および波長多重通信制御系）を光センターノード内部に設けた例について説明したが、光センターノードに通常の通信ノード用の入出力ポートとは別の入出力ポートを設け、そこに接続された波長制御通信ノードに波長多重通信制御機構をもたせることも可能である。この場合、波長制御通信ノードは送信要求の通信ノードがあった場合、そ

の通信ノードの発光波長が所定の波長に落ちつくまで、その通信ノードの送信波長を停止する必要があるが、最初に発光する波長を最長波長側に設定し、その最長波長から短波長側に順次一定波長間隔 $\Delta\lambda$ ずつ配置するように定めておけば、送信要求した通信ノードの発光波長を最短波長から送信させ、送信波長を停止することなく、順次長波長側の隣接ノードと波長間隔 $\Delta\lambda$ となる波長に移動させ、その波長に至って情報送信を開始させるようにすることができる。この波長配置の設定手段には他の方法でもよい。

【0189】また、光センターノードの光路の接続を、波長可変光送信器の波長設定時、あるいは通信ノードの波長可変光送信器の暴走時のみ"光センターノード接続" にするとしたが、"光センターノード接続" になっている光入力ポートに接続された通信ノードが送出するパケットを、光センターノードが再生・中継するならば、通信ノードの波長可変光送信器の波長設定が終了してから波長多重通信系での送信が終了するまでの間のみ"全通信ノード接続" とすることも可能である。

【0190】第11実施形態で説明した波長制御方式に関しては、通信ノードの波長可変光送信器の波長設定時において、隣接波長と $\Delta\lambda$ の位置に設定できる他の手順を用いることも可能である。

【0191】また、発明の背景となるスター型要求割当波長多重通信ネットワークとして、波長多重通信系を1.5 μm 帯とし、パケット通信系を1.3 μm 帯とした構成を用いたが、これら2つの通信系の独立性が保たれるならば、他の構成を用いることも可能である。例えば、パケット通信系として、パケット通信用の光ファイバあるいは電線を別に敷設しても良い。

【0192】上述の第9乃至第12実施形態によれば、光センターノードが上記のようにその内部の光路を切り替えることにより、通信ノードによる波長多重通信系の波長可変光送信器の波長設定を他のチャンネルの波長と混信することなく行うことが可能になる。

【0193】また、光センターノードが波長多重通信系の波長配置を常に監視しているので、仮に波長可変光送信器が暴走した通信ノードがあった場合には、光センターノードがそれを検知し、その通信ノードからの光信号を他の通信ノードに伝わらないようにすることが可能になる。

【0194】また、光センターノードが波長多重通信系の波長配置の監視と制御によって、通信ノードの構成を複雑化することなく、高密度な波長多重を実現でき、波長多重通信系のチャンネル数を多くすることができる。

【0195】本実施形態の如く各通信ノードからの信号が集中するセンターノードにおいて波長配置検知を行うことにより、更なる通信手段を用いることなく光路制御を行うことができる。

【0196】以上各実施形態では、波長配置検知、もし

くは波長多重信号受信のために、波長可変フィルタの透過波長を制御回路により制御し、該制御のためのパラメータ（例えば上記実施形態のように電圧により透過波長を制御するときはその電圧）により波長可変フィルタが透過している波長を認識する構成とした。本発明では用いる波長可変フィルタ（上記実施形態で用いたファイバーフアブリペロー型のものや、半導体デバイス等）の種類に応じて、その制御パラメータとしてはそれぞれに適当なものを用いることができ、また波長検知方式として局発振光との周波数差として波長を認識する、いわゆるヘテロダイン検波方式を用いることもできる。ただしヘテロダイン検波方式を採用すると、検知すべき光の波長と局発振光の波長の差は認識できるものの、大小関係に関しては認識できない為、上記各実施形態で述べてきたように、通信ノードの送信波長を長波長側もしくは短波長側のいずれにシフトすべきかを波長制御情報として各通信ノードに送るためには、上記各実施形態で述べてきたように波長可変フィルタを用いた構成がより好適である。

【0197】また、本発明のネットワーク形態としては、スター型の構成に限らず、バス型、リング型等用いることができる。ただしスター型の構成では、波長制御信号が、スターカブラを経由した後に各通信ノードに到達するまでの時間が各通信ノードとスターカブラ間の光路長差が大きく変わらないとほぼ一定となるので、波長制御情報がほぼ同時に各通信ノードに到達するため好適である。

【0198】

【発明の効果】本発明では、ネットワークシステム内のいずれか（波長制御ノード、非受信状態の通信ノード、センターノード）において波長配置検知を行い、それに基づいて波長制御のための信号を生成し、各通信ノードに送出し、各通信ノードでは該波長制御のための信号に基づき波長制御を行うことによって混信を起こすことなく通信を行うことができる。また高密度な波長多重を実現できる。また特に通信ノードが波長配置検知用の波長選択（検知）手段と、波長多重信号受信用の波長選択（検知）手段を別個に持つ必要がないため、ネットワークの構築コストを大きく低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態に適用する波長多重通信システムの構成図である。

【図2】本発明の一実施形態による波長制御方式の動作の一例を示す図である。

【図3】本発明の一実施形態に用いる波長制御パケットのデータ形式を示す図である。

【図4】本発明の一実施形態での波長制御ノードの構成図である。

【図5】本発明の一実施形態に適用する通信ノードの構成図である。

【図6】本発明及び従来例に適用する波長多重通信システムの波長配置を示す図である。

【図7】本発明の一実施形態での波長制御ノードの構成図である。

【図8】本発明に適用する波長多重通信システムの構成図である。

【図9】本発明の一実施形態による波長制御方式の動作の一例を示す図である。

【図10】本発明の一実施形態に適用する通信ノードの構成図である。

【図11】本発明の一実施形態による波長制御方式中波長制御役の動作の一例を示す図である。

【図12】本発明の一実施形態による波長多重通信システムの構成図である。

【図13】本発明の一実施形態による波長制御方式の動作の一例を示す図である。

【図14】本発明の一実施形態による波長制御方式の動作の一例を示す図である。

【図15】本発明による光センターノードの一実施形態の構成図である。

【図16】本発明の一実施形態による波長多重通信システムの構成図である。

【図17】本発明による光センターノードの一実施形態の構成図である。

【図18】本発明による光センターノードの一実施形態の波長制御方式の動作説明図である。

【図19】本発明による光センターノードの一実施形態の構成図である。

【図20】従来例に示した波長多重通信システムの構成図である。

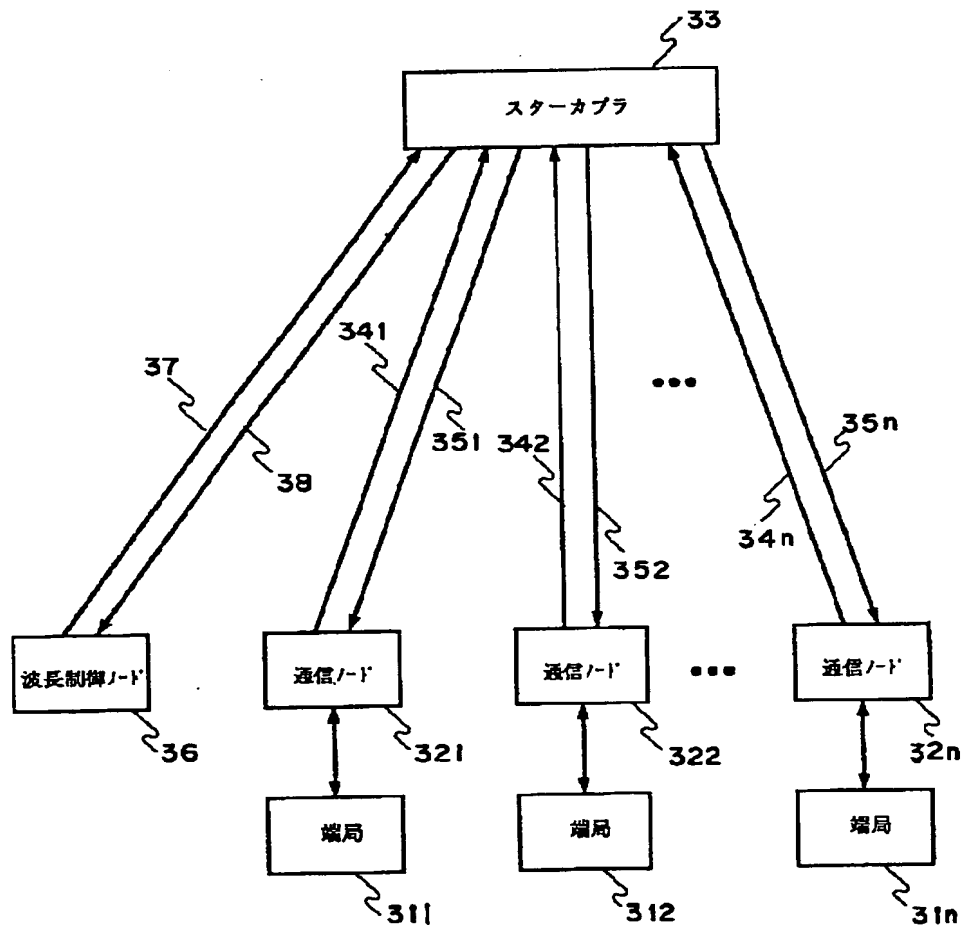
【図21】従来例の波長制御方式による動作の一例を示す図である。

【符号の説明】

- 33 スターカブラ
- 311~31n 端局
- 321~32n 通信ノード
- 341~34n, 351~35n 光ファイバ
- 36, 361, 362 波長制御ノード
- 37, 38 光ファイバ
- 41, 51 波長制御系
- 42, 53 波長可変フィルタ
- 43, 55 波長可変フィルタ駆動回路
- 44, 58 受光素子
- 45 増幅器
- 46 識別器
- 47 LD
- 48 LD駆動回路
- 52 波長可変LD
- 54 波長可変LD駆動回路
- 56 光変調器

- | | |
|------------------------|-------------------------------------|
| 57 光変調器駆動回 | 202 (N+1) 光カプラ |
| 59, 511 受信回路 | 203 2×1 光カプラ |
| 510 受光素子 | 204 光分波器 |
| 512 光合波器 | 205 波長配置検出系 |
| 513 光分波器 | 206 光受信器 |
| 71 波長制御系 | 207 光送信器 |
| 101 送信部波長制御系 | 208 波長多重通信制御系 |
| 102 受信部波長制御系 | 271, 272, 281, 282 光ファイバ |
| 103 光分岐器 | 1901, 1902, 1903, 1904 ON/OFF 光スイッチ |
| 201 (N+1) × (N+1) 光カプラ | |

【図1】

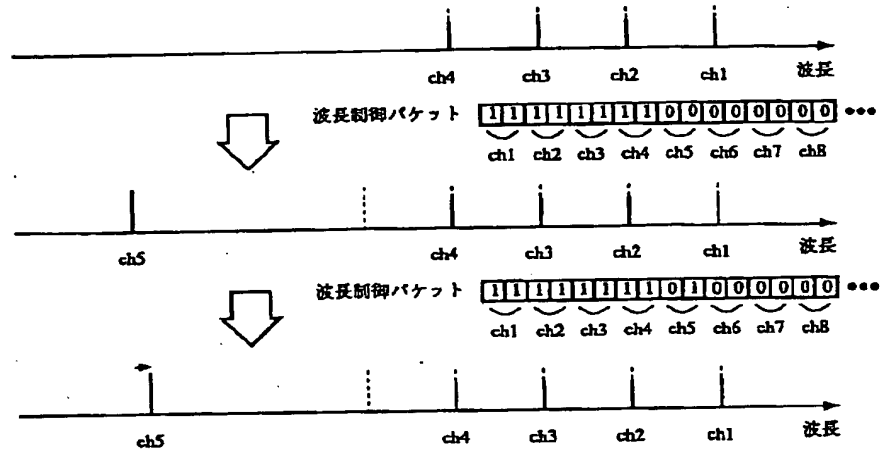


【図6】

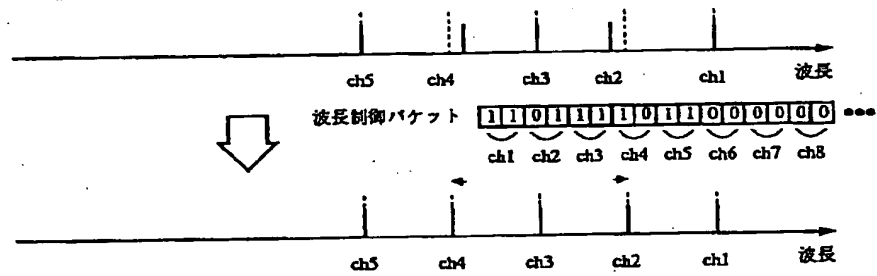


【図2】

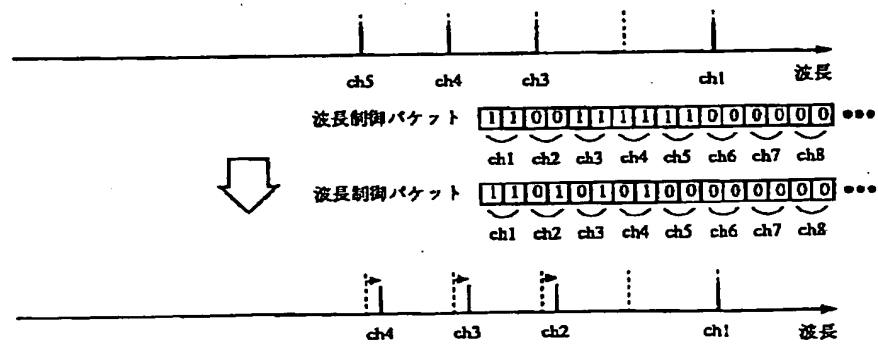
a) 発光開始時



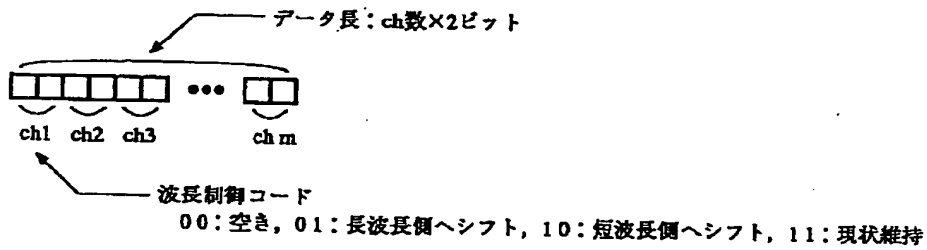
b) ズレの補正



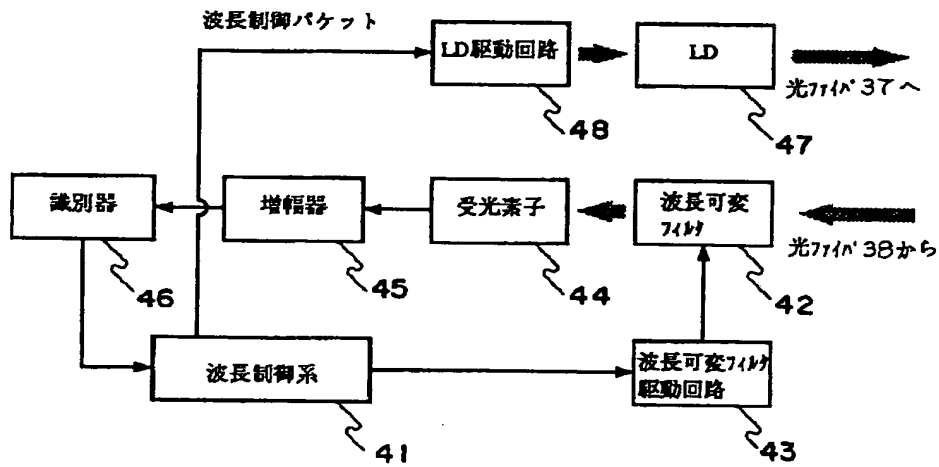
c) 空きスペースの解消



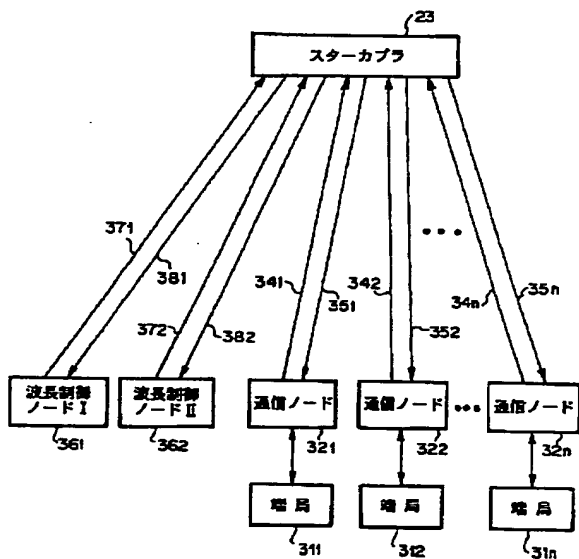
【図 3】



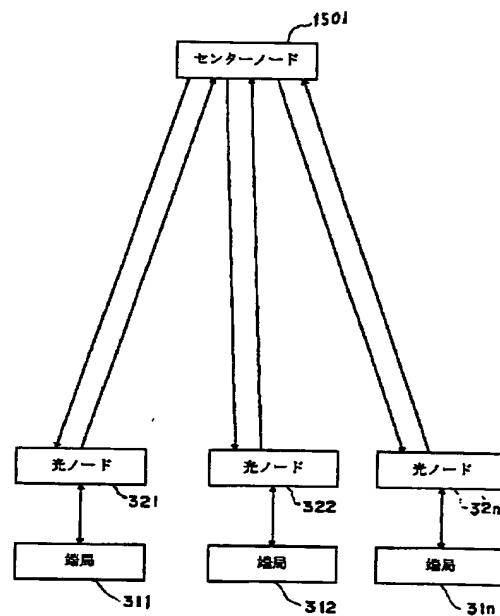
【図 4】



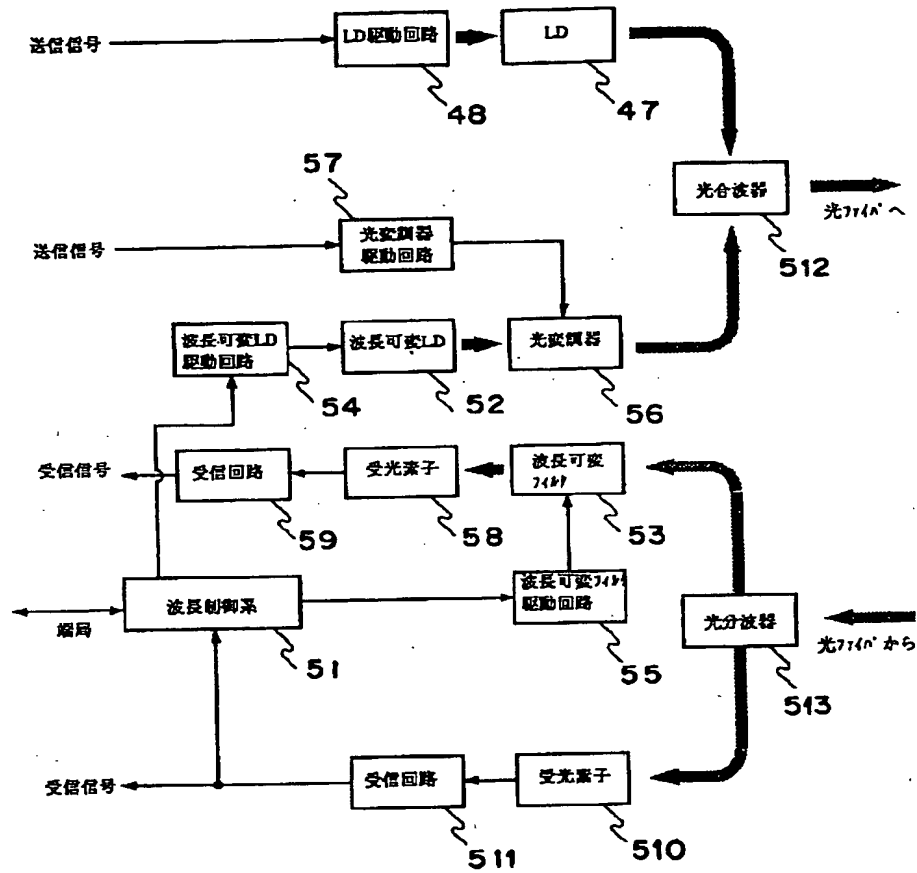
【図 12】



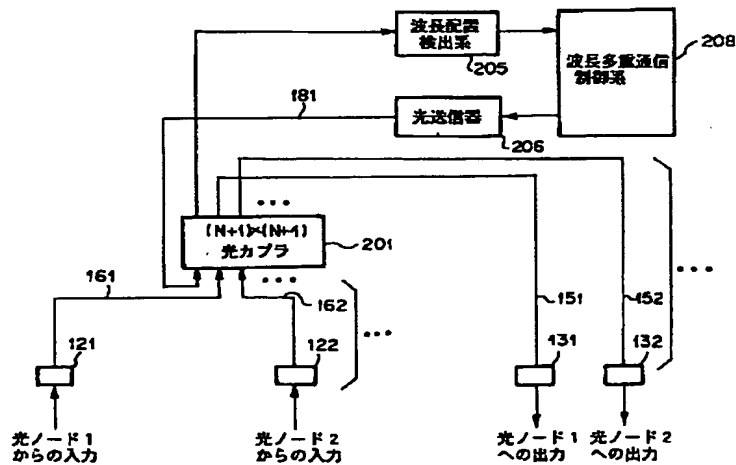
【図 16】



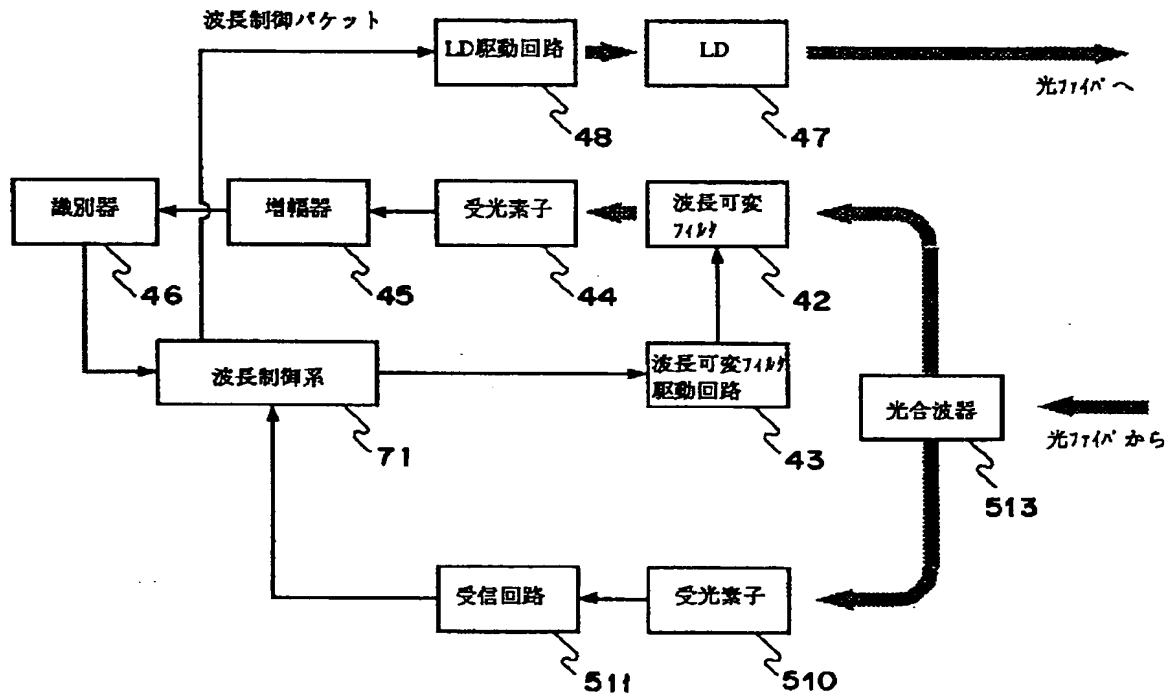
【図5】



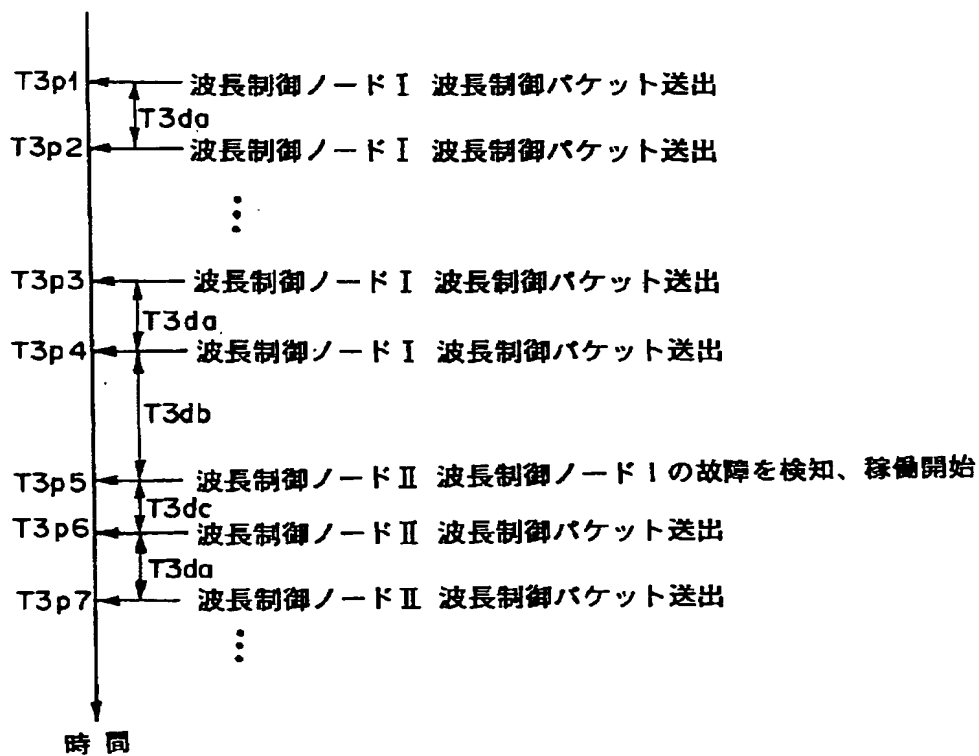
【図15】



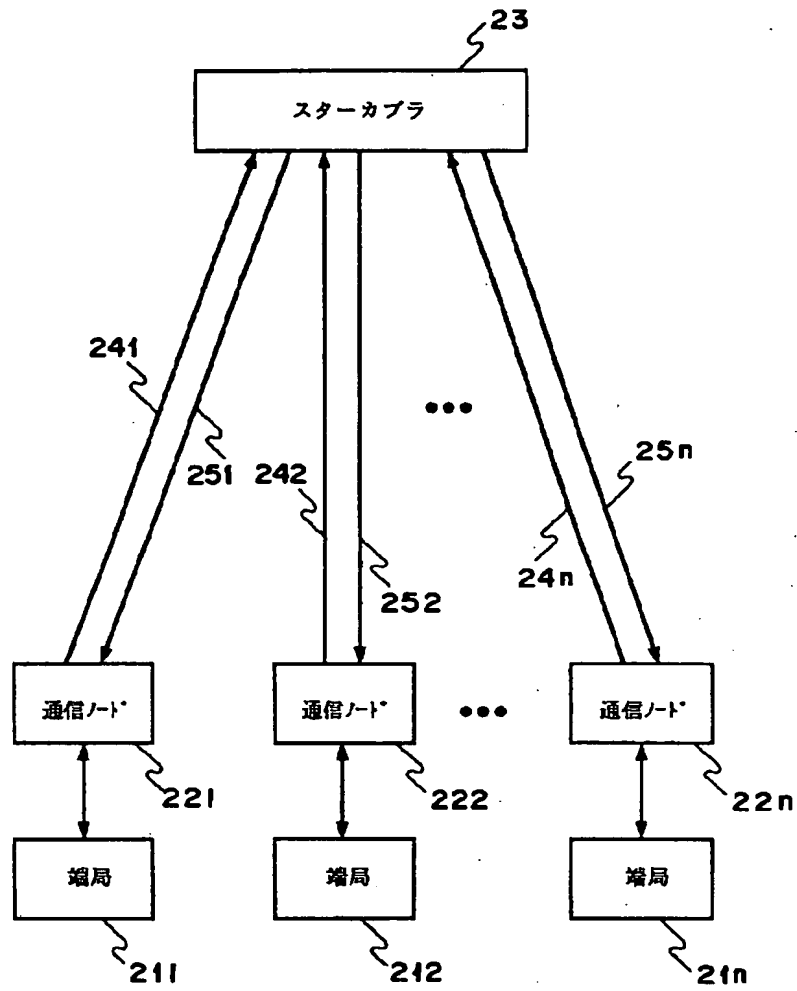
【図 7】



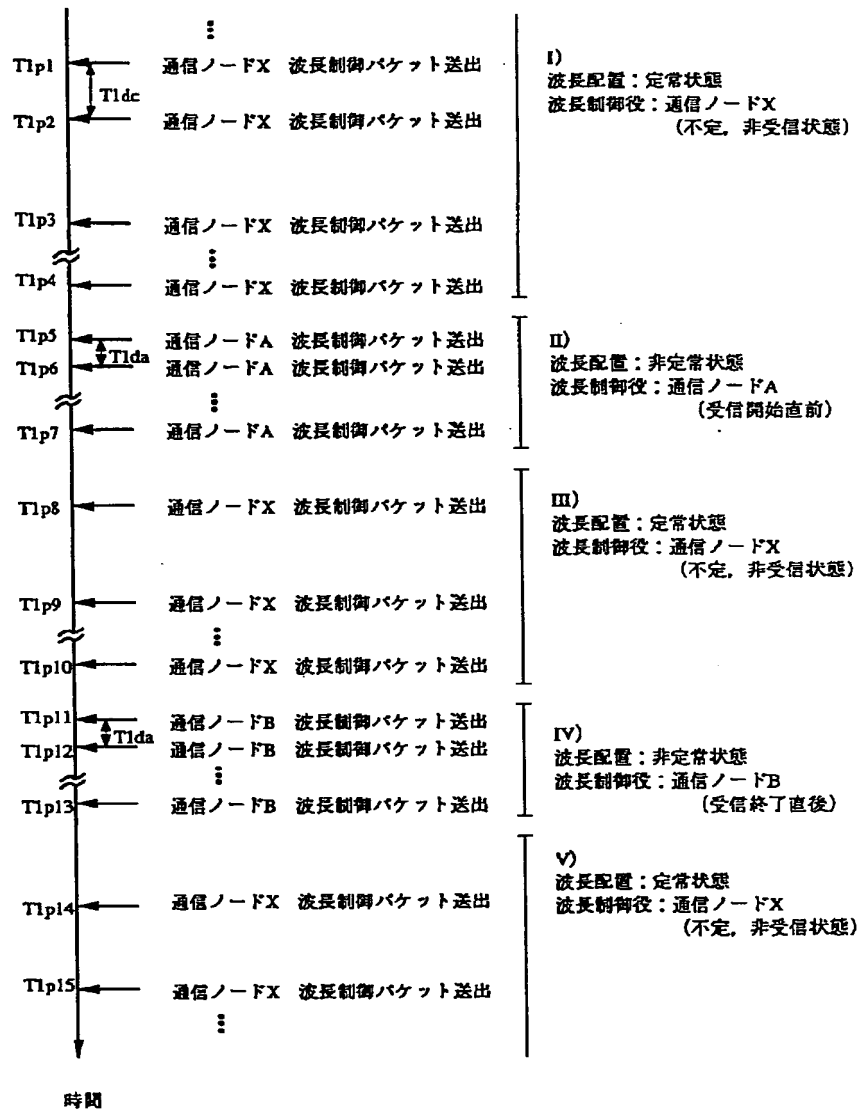
【図 13】



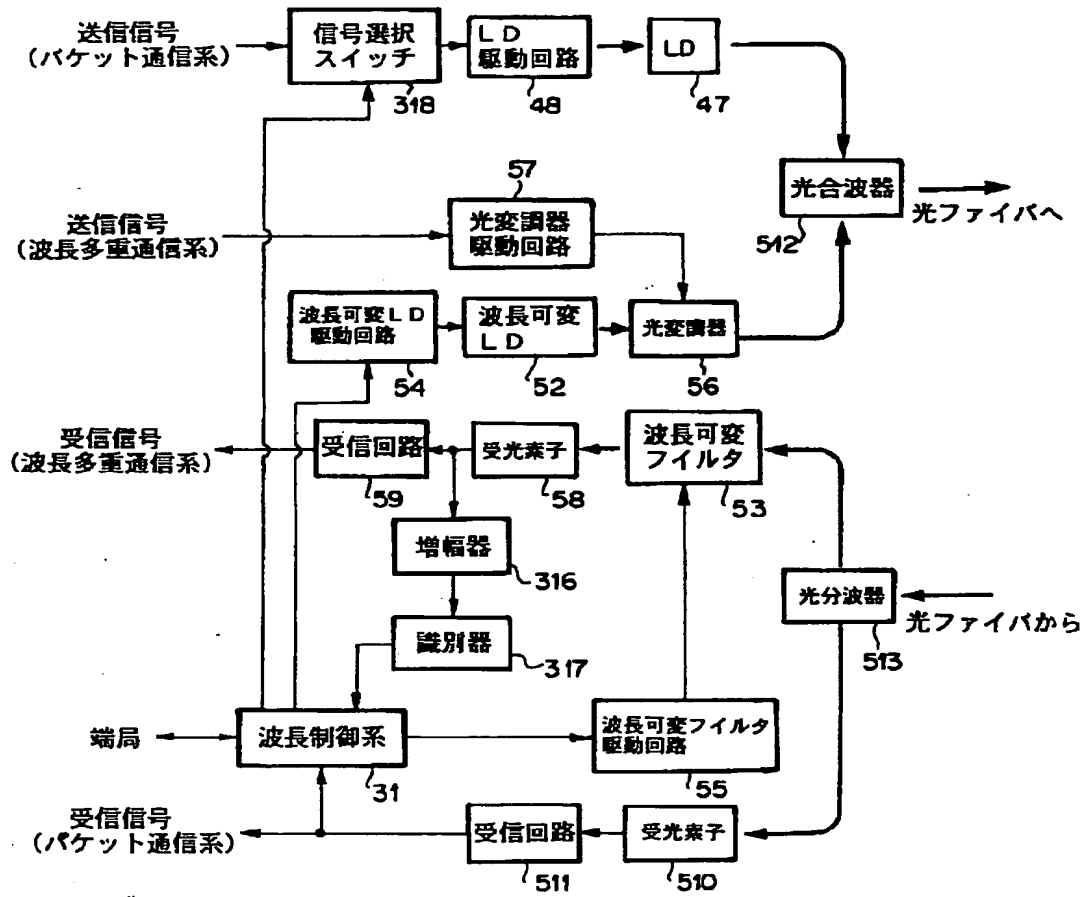
【図8】



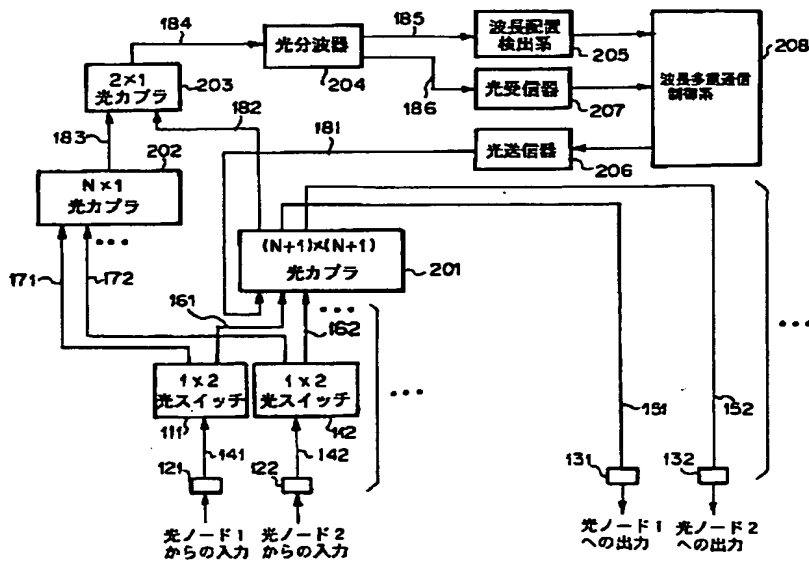
【図 9】



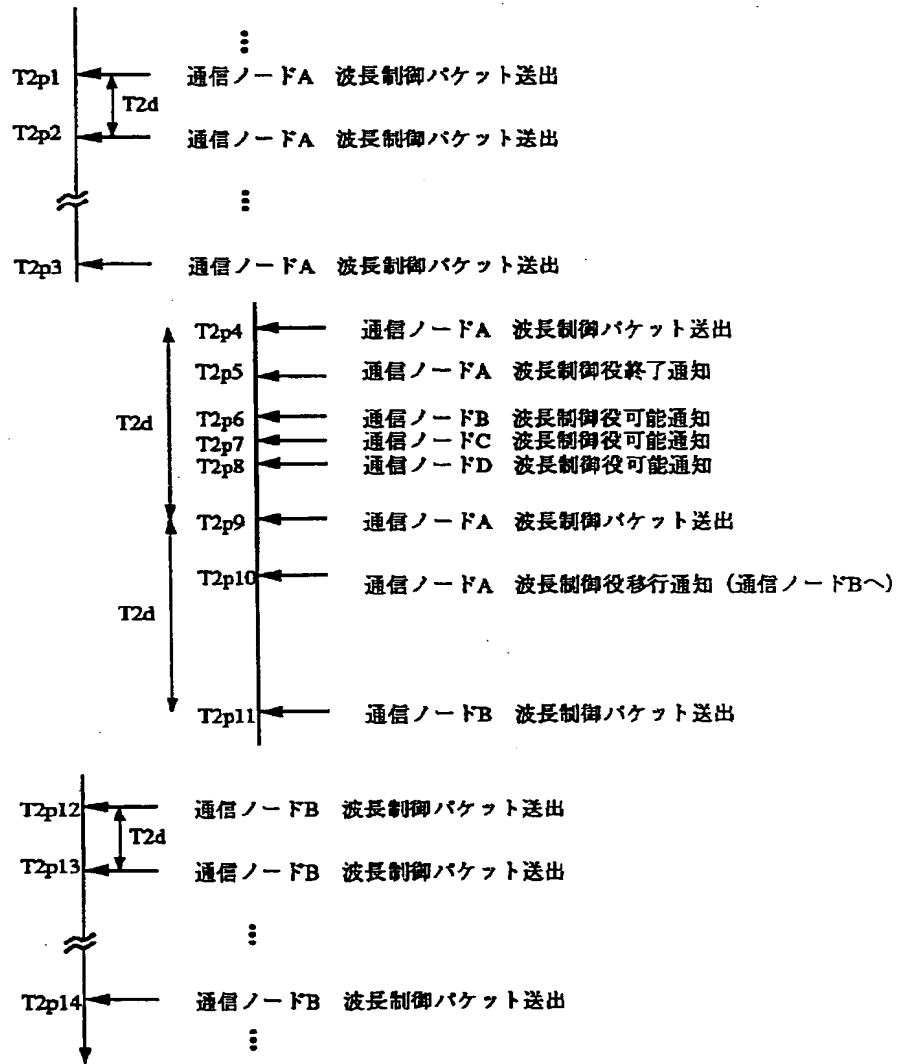
【図 10】



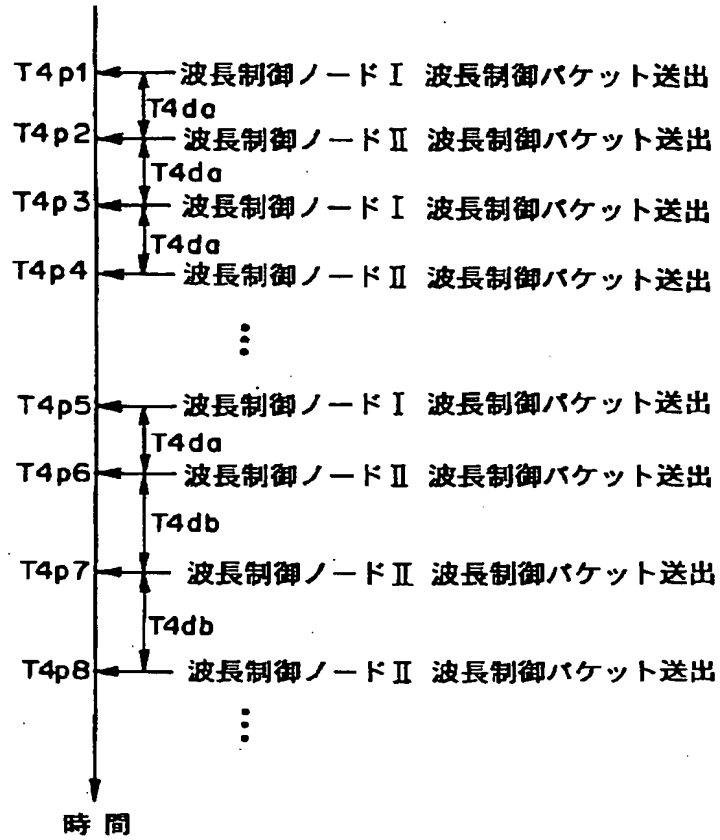
【図 17】



【図 11】

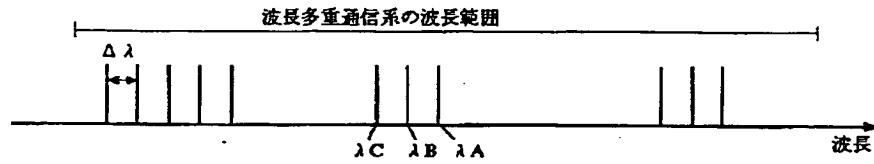


【図 14】

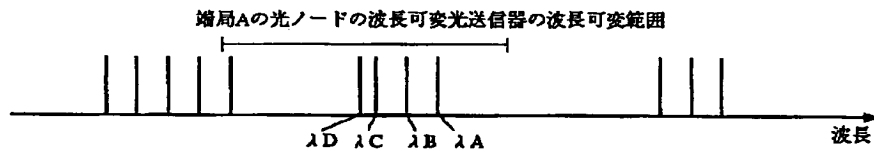


【図18】

- (1) 光ノードDの波長可変光送信器が発光する前の波長配置



- (2) 光ノードDの波長可変光送信器の最短波長で発光時の波長配置



- (3) 光ノードDの波長可変光送信器の波長設定時の波長配置



- (4) 光ノードDが波長可変光送信器の波長を設定した時、およびその後の定常状態での波長配置



- (5) 光ノードBが波長可変光送信器の発光を停止した時の波長配置



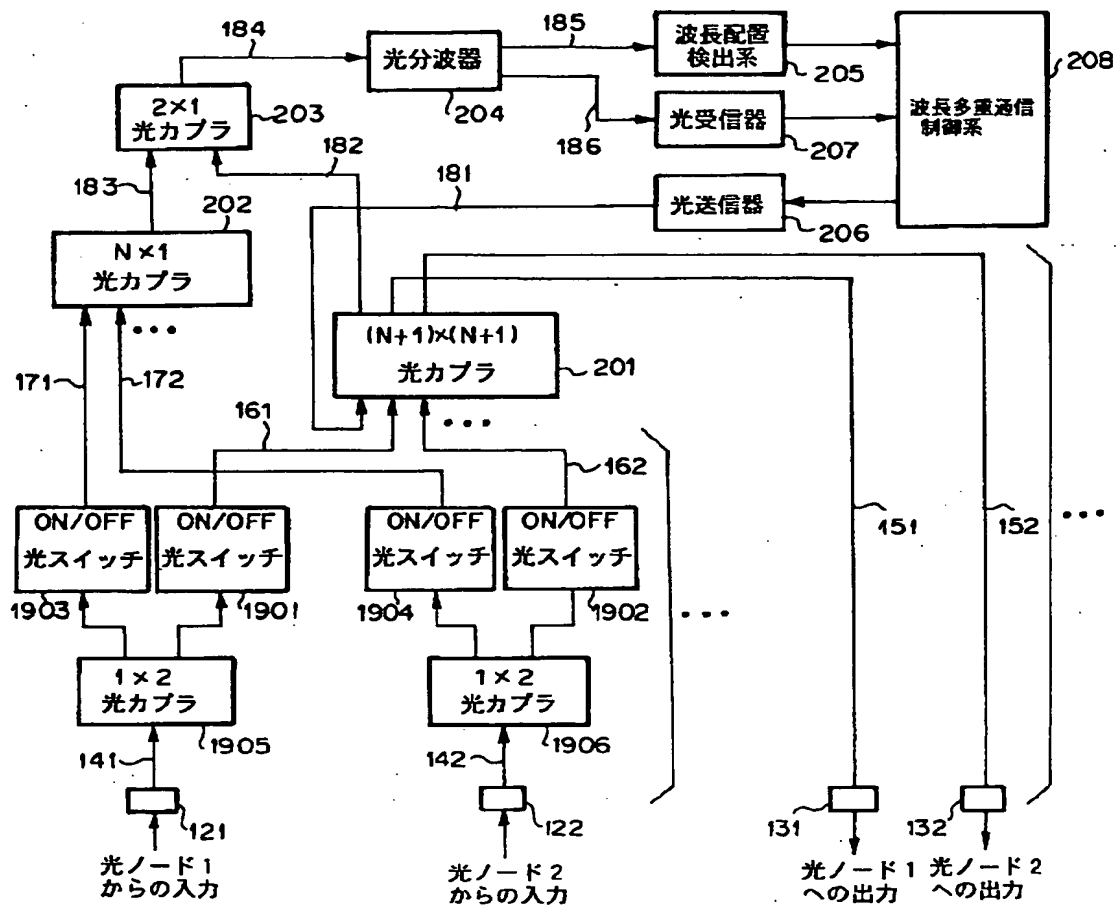
- (6) 光ノードC, Dが波長可変光送信器の波長をシフトしている時の波長配置



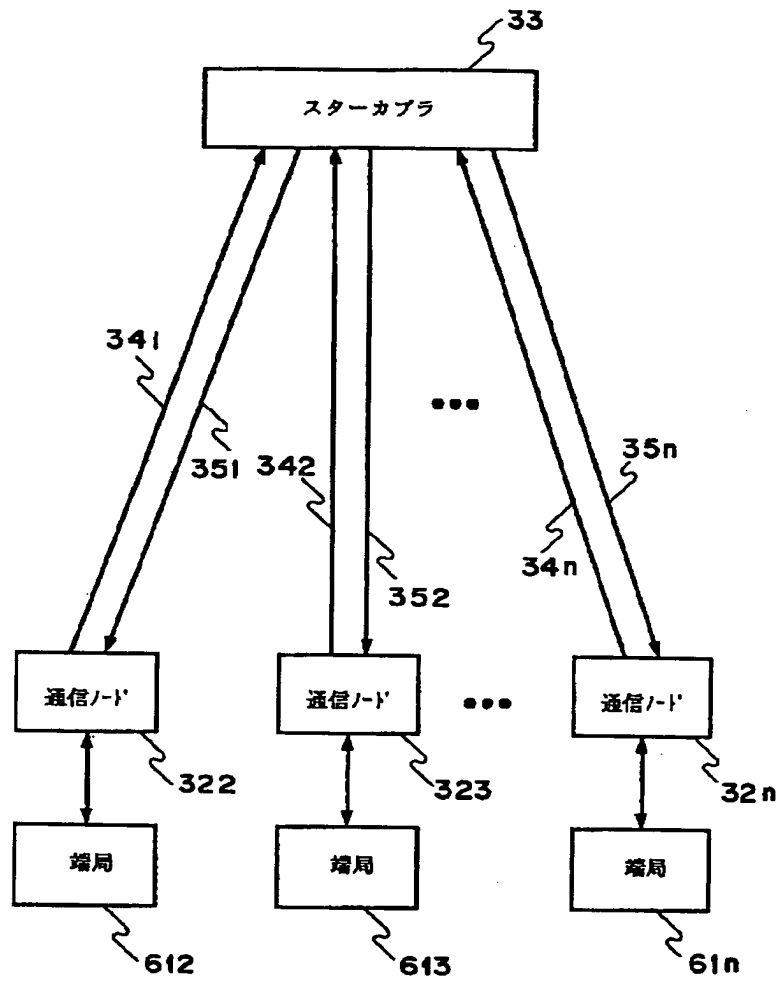
- (7) 光ノードBが波長可変光送信器の発光を停止した後の定常状態での波長配置



【図19】

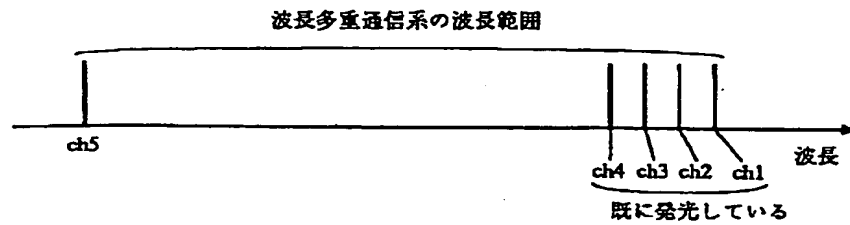


【図20】

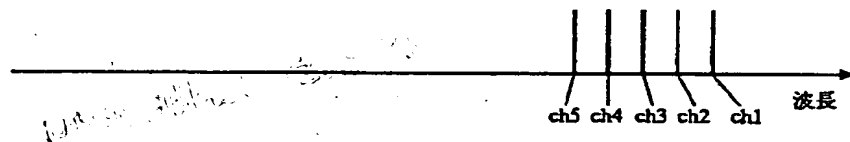


【図21】

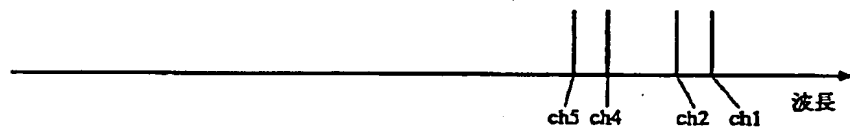
a) ある通信ノードがch5で発光を開始



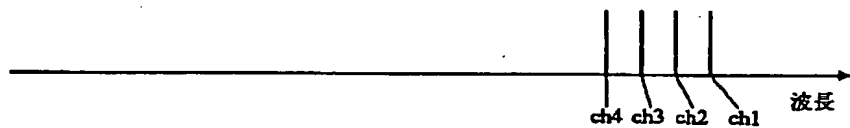
b) aの定常状態



c) ch3を使用していた通信ノードが発光を停止



d) cの定常状態



THIS PAGE BLANK (USPTO)